

**(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG**

**(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro**



**(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
31. Mai 2001 (31.05.2001)**

PCT

**(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 01/38820 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01B 9/02,  
11/06, G01N 21/45

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH00/00634

(22) Internationales Anmeldedatum:  
24. November 2000 (24.11.2000)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
2146/99 24. November 1999 (24.11.1999) CH

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): HAAG-STREIT AG [CH/CH]; Gartenstadtstrasse 10, CH-3098 Köniz (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): WAELETI, Rudolf [CH/CH]; Könizstrasse 194j, CH-3097 Liebefeld (CH). SCHMID, Gregor, F. [CH/CH]; Rte de Prinzières, CH-1965 Savièse (CH).

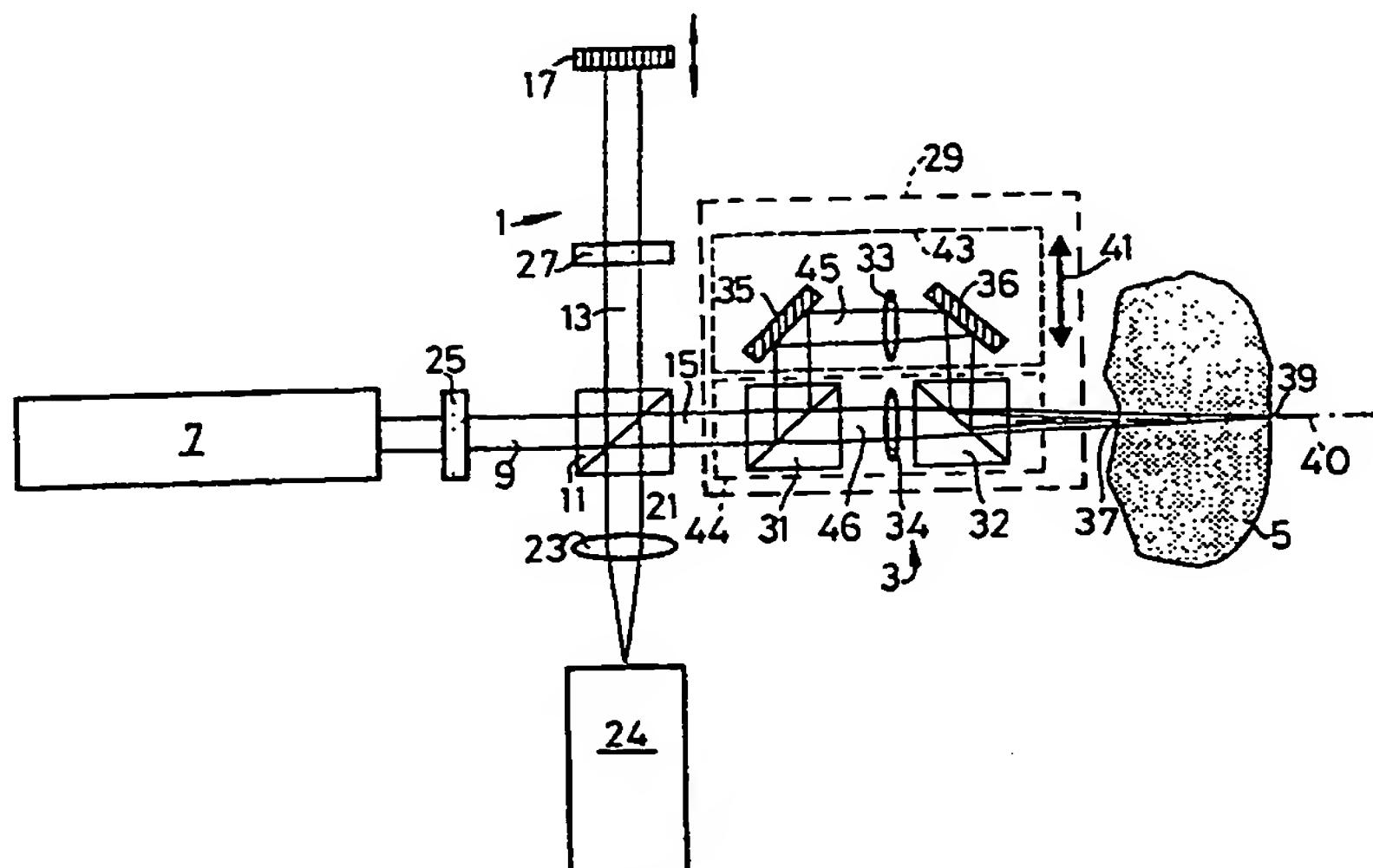
(74) Anwälte: ROSHARDT, Werner, A. usw.; Keller & Partner Patentanwälte AG, Schmiedenplatz 5, Postfach, CH-3000 Bern 7 (CH).

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING THE OPTICAL PROPERTIES OF AT LEAST TWO REGIONS LOCATED AT A DISTANCE FROM ONE ANOTHER IN A TRANSPARENT AND/OR DIFFUSE OBJECT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MESSUNG OPTISCHER EIGENSCHAFTEN WENIGSTENS ZWEIER VONEINANDER DISTANZIERTER BEREICHE IN EINEM TRANSPARENTEN UND/ODER DIFFUSIVEN GEGENSTAND



WO 01/38820 A1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for measuring the optical properties of at least two regions (37/39) located at a distance from one another in a transparent and/or diffuse object (5) with a measuring period in the subsecond range, the object (5) being irradiated with a number of measuring beams (45, 46) which corresponds to the number of regions. Each two measuring beams have, with the exception of a specific tolerance in relation to each other, an optical path differential, which corresponds to a geometric distance between two respective regions (37, 39). Each reflection beam of the measuring beams reflected from one of said regions (37, 39) is superimposed interferometrically and detected using a third beam (13; 60) which has a temporal, preferably periodic variation in the optical path length.

*[Fortsetzung auf der nächsten Seite]*



(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— Mit internationalem Recherchenbericht.

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

(57) **Zusammenfassung:** Bei dem Verfahren zur Messung optischer Eigenschaften wenigstens zweier voneinander distanzierter Bereiche (37/39) in einem transparenten und/oder diffusiven Gegenstand (5) mit einer Messzeit im Subsekundenbereich wird der Gegenstand (5) mit einer der Anzahl Bereiche entsprechenden Anzahl Messstrahlen (45, 46) bestrahlt. Jeweils zwei Messstrahlen haben bis auf eine Toleranz zueinander eine optische Wegdifferenz, welche einem geometrischen Abstand jeweils zweier Bereiche (37, 39) entspricht. Jeder von einem der Bereiche (37, 39) reflektierte Reflexionsstrahl der Messstrahlen wird mit einem eine zeitliche, bevorzugt periodische, Weglängenvariation aufweisenden dritten Strahl (13; 60) interferierend überlagert und detektiert.

10

**Verfahren und Vorrichtung zur Messung optischer Eigenschaften wenigstens zweier voneinander distanzierter Bereiche in einem transparenten und/oder diffusiven Gegenstand**

15

**Technisches Gebiet**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren, eine Vorrichtung zur Messung optischer Eigenschaften wenigstens zweier voneinander distanzierter Bereiche bei einem transparenten und/oder diffusiven Gegenstand sowie deren Verwendung zur Dicken-, Abstands- und/oder Profilmessung. Die Dicken-, Abstands- und/oder Profilmessung wird mittels Kurzkohärenzreflektometrie vorgenommen.

Die Transparenz von Gegenständen hängt von deren wellenlängenabhängigen Schwächungskoeffizienten  $\alpha$  [ $\text{cm}^{-1}$ ] und deren Dicke bzw. der vorgegebenen Messstrecke  $d$  ab. Als transparent werden Gegenstände bezeichnet, deren Transmissionsfaktor  $T = \exp(-\alpha \cdot d)$  noch innerhalb des Messbereichs der unten beschriebenen Interferometer liegt, wobei die Transmission  $T^2$  bei den unten beschriebenen Interferometern infolge des "Hin- und Rückweges" der Strahlung ist. In diffusiven Gegenständen

wird die Strahlung stark gestreut, nicht notwendigerweise absorbiert. Beispielsweise sind als diffusive Gegenstände Milchglasscheiben, Delrin, organische Gewebe (Haut, menschliche und tierische Organe, Pflanzenteile etc.) anzusehen.

Eine Kurzkohärenzreflektometrie wurde in der Regel für präzise, rasche und  
5 nicht-invasive Abbildungen vorgenommen. Typischerweise wurde in einer optischen Anordnung mit einem Michelson-Interferometer der Strahl einer Strahlungsquelle in einen Referenz- und einen Messstrahl mit einem Strahlteiler aufgespalten. In der Regel wurde eine Strahlungsquelle mit einer kurzen Kohärenzlänge ausgewählt. Eine Aufspaltung in Referenz- und Messstrahl sowie deren Wiedervereinigung erfolgte mit einem Strahlteiler und bei Verwendung von Faseroptikwegen mit einem Faserkoppler.  
10 Die optische Weglängenänderung im Referenzarm konnte durch Verschieben eines Referenzspiegels auf einer Translationsbühne erreicht werden. Vorteilhafterweise verwendete man jedoch einen rotierenden transparenten Würfel, wie er in der WO96/35100 beschrieben war. Nur wenn der Weglängenunterschied kleiner als die  
15 Kohärenzlänge der Strahlung der Strahlungsquelle war, entstand nach der Wiedervereinigung des reflektierten Referenz- und Messstrahls ein Interferenzmuster. Das Interferenzmuster wurde auf einen Photodetektor gebracht, welcher die Strahlungsintensität während der Veränderung der Spiegelposition maß. Da die Frequenz der Strahlung des reflektierten Referenzstrahls wegen der Spiegelverschiebung eine Dopplerverschiebung erfuhr, konnte das Interferenzsignal mit elektronischen Mitteln, wie beispielsweise in der WO99/22198 beschrieben, durch Erhöhung des Signal-Rausch-  
20 25 verhältnisses ausgewertet werden.

Messfehler traten jedoch auf, wenn Abstände, welche wenigstens zwei Messvorgänge notwendig machten, in optisch transparenten bzw. eine optische Strahlung diffus transmittierenden Gegenständen gemessen werden sollten und die Gegenstände über dem gesamten Messzyklus innerhalb der geforderten Messtoleranz nur schwer oder nicht ausreichend fixiert werden konnten. Diese Probleme traten insbesondere bei "in-vivo"-Messungen auf.

### **Darstellung der Erfindung**

#### **30 Aufgabe der Erfindung**

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren vorzustellen sowie eine Vorrichtung

zu schaffen, mit dem bzw. mit der insbesondere bei "in-vivo"-Messungen von Abständen, Dicken, Oberflächenverläufen,..., welche Messungen an unterschiedlichen Orten in einem Gegenstand beinhalten, optimal d.h. mit einer Messfehlerminimierung durchführbar sind.

## 5 Lösung der Aufgabe

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass zur Messung optischer Eigenschaften mit einer Messzeit im Subsekundenbereich (notwendig für eine "in-vivo"-Messung) wenigstens zweier voneinander distanzierter Bereiche bei einem transparenten und/oder diffusiven Gegenstand, wie zur Abstands-, Längen-, Dicken- und Profilmessung notwendig, der Gegenstand mit einer der Anzahl Bereiche entsprechenden Anzahl Messstrahlen gleichzeitig oder kurz nacheinander bestrahlt wird. Durch den Ausdruck "bei" einem Gegenstand soll ausgedrückt werden, dass die Bereiche sich an Orten im Gegenstand sowie auch auf dem Gegenstand, z. B. seitlich versetzt befinden können.

Jeweils zwei Messstrahlen haben bis auf eine Bestimmungstoleranz zueinander eine optische Wegdifferenz, d. h. einen Laufzeitunterschied. Der Laufzeitunterschied entspricht einem optischen Abstand zweier Raumpunkte (Bereiche) in Bezug auf die Ausbreitungsrichtung der Messstrahlung, wobei wenigstens einer der Raumpunkte wenigstens geringfügig (typischerweise mindestens  $10^{-4}$ % der Strahlungsintensität) reflektiert. Die Messstrahlen können somit übereinander liegen (Dicken-, Distanz-, Längenmessung), parallel zueinander verlaufen (Oberflächenprofil, ...) oder beliebige Winkel zueinander aufweisen (Dicken-, Distanzmessung, ... bei vorgegebenem Winkel zu einer Referenzfläche). Jeder von einem der Bereiche reflektierte Reflexionsstrahl der Messstrahlen wird mit einem eine zeitliche, bevorzugt periodische, Weglängenvariation aufweisenden dritten Strahl interferierend überlagert detektiert.

Nach der Vornahme der Wegdifferenz bzw. -differenzen erfolgt vorzugsweise zur Dickenmessung eine Vereinigung der Messstrahlen zu einer einzigen Strahlkonfiguration mit einer einzigen optischen Achse. Auch kann die Strahlkonfiguration über den Gegenstand, insbesonders periodisch bewegt werden. Es erfolgt hierdurch ein seitliches Abscannen. Dieses Abscannen unter einem Abspeichern der ermittelten Werte kann zur Erstellung von Profilen dienen. Anstelle die beiden Messstrahlen auf einer optischen Achse zu fokussieren, können jedoch auch jeweils wenigstens zwei

Messstrahlen in einem Abstand nebeneinander verlaufen und fokussiert werden, um ein Oberflächenprofil zu ermitteln.

Die Messstrahlen haben im Vergleich zu den Bereichsabständen, insbesondere zu den Bereichsabständen ausgehend von einem Referenzort eine kurze Kohärenz-  
5 längen. Die Messstrahlen können ferner jeweils sich voneinander unterscheidende Strahlungsfrequenzen haben. Es müssen dann jedoch mehrere Strahlungsquellen verwendet werden. Man kann auch mit nur einer Strahlungsquelle arbeiten und über Filter eine Aufteilung vornehmen. Hierbei ergibt sich jedoch ein Verlust an Breitbandigkeit; auch müssen einige der Komponenten mit einer aufwendigen Beschichtung ver-  
10 sehen werden.

Anstelle von unterschiedlichen Strahlungsfrequenzen bzw. ergänzend hierzu können die Messstrahlen sich voneinander unterscheidende Polarisationszustände haben, was einen einfacheren Aufbau eribt. Vorzugsweise wird man auch eine Fokusierung der Messstrahlen in den auszumessenden Bereich bzw. die auszumessenden Bereiche vornehmen. Da mit einer "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung gearbeitet wird, kann die augenblickliche Position des reflektierenden Elements im Referenzarm als Referenzort dienen. Es kann nun die tatsächliche Position hierzu verwendet werden oder ein mit dem Referenzort gekoppelter anderer Wert, wie beispielsweise die Verdrehungsposition des in der WO 96/35100 beschriebenen rotierenden Würfels.  
15  
20

Die Messung wird mit einer "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung, in deren Messarm der optisch transparente und/oder diffusiv Gegenstand einbringbar ist, durchgeführt. Anstelle eines optisch transparenten und/oder diffusiven Gegenstands kann auch mit einem Gegenstand gearbeitet werden, dessen Oberfläche reflektierend ist. Bei einem reflektierenden Gegenstand kann mit der erfindungsgemäßigen Methode insbesondere dessen Oberflächenprofil ermittelt werden. Der Gegenstand kann jedoch optisch transparent und/oder diffusiv sein und eine (wenigstens einige wenige Prozente) reflektierende Oberfläche haben. In diesem Fall können dann sowohl Oberflächen, wie auch Dicken bzw. deren Verläufe ermittelt werden. Der Referenzarm weist eine Weglängenvariationseinheit auf, mit der bevorzugt eine periodische Weglängenänderung im Referenzarm durchführbar ist. Im Messarm ist vor dem Gegenstand eine Umwegeeinheit angeordnet, mit der wenigstens ein erster Messstrahl mit einer gegenüber wenigstens einem zweiten Messstrahl größeren Laufzeit beaufschlag-  
25  
30

bar ist, wobei ein mit der Umwegeinheit erzeugbarer Umweg bis auf eine Bestimmungstoleranz gleich einem Abstand von mindestens zweier im Gegenstand auszumessenden Bereichen wählbar ist. Neben im Gegenstand "hintereinander" liegenden Bereichen (Orte) zur Dickenmessung, können selbstverständlich auch "nebeneinander" 5 liegende Bereich (Ort) zur Bestimmung von Oberflächenkrümmungen, bzw. Oberflächenverläufen ausgemessen werden.

Der Umweg wird näherungsweise derart eingestellt, dass er einem zu erwartenden Messergebnis einer zu bestimmenden Dicke, Abstand, ... bis auf eine Bestimmungstoleranz entspricht. Mit der Wegvariationseinheit im Referenzarm muss dann nur 10 noch der nicht bekannte (zu bestimmende) Anteil der Dicke, des Abstands etc. ermittelt werden. Soll z.B. die tatsächliche Länge eines menschlichen Auges bestimmt werden, so weiß man ja bereits im Vorhinein, dass Augen eine optische Länge von 34 mm mit einer Längentoleranz von +/- 4 mm aufweisen. Es kann nun hier ein Umweg auf 34 mm eingestellt und mit der Wegvariationseinheit eine Variation von lediglich 8 mm vorgenommen werden. 15

Mit der unten beschriebenen Vorrichtung und deren Ausführungsvarianten kann am Auge neben der Augenlänge, die Corneadicke, die Vorderkammertiefe, die Lensedicke und die Glaskörpertiefe sowie entsprechende Oberflächenprofile gemessen werden. Hierzu wird der für die Augenoberfläche als Gegenstandsoberfläche bestimmte 20 Messstrahl "irgendwo" zwischen der Corneavorderseite und der Linsenrückseite fokussiert. Durch diesen "Kompromiss" kann dann die Reflexion an der Corneavorderseite, der Cornearückseite, der Linsenvorderseite und der Linsenrückseite detektiert werden. Die Distanz zwischen der Cornearückseite und der Linsenvorderseite ist dann die Vorderkammertiefe. Bedingung für diese Messung ist jedoch, dass der "optische" Hub (ca. 25 8 mm) der Wegvariationseinheit derart groß ist, dass von der Corneavorderseite bis zur Linsenrückseite gescannt werden kann.

Eine einzige Messung verarbeitet somit die Reflexionen an mehreren Bereichen zusammen nahezu gleichzeitig. Um die einzelnen Reflexionen messtechnisch dennoch unterscheiden zu können, haben die Messstrahlen unterschiedliche optische Eigenschaften, wie unterschiedliche Polarisationsrichtung, unterschiedliche Wellenlänge, ... . Man kann jedoch auch mit nicht unterscheidbaren Strahlen arbeiten und durch eine Veränderung des Umwegs die beiden Interferenzsignale zur Deckung bringen. In diesem Fall ist dann der eingestellte Umweg gleich dem gesuchten Abstand, Dicke etc.

Die Verwendung von nicht unterscheidbaren Strahlen führt zu einem Sensitivitätsverlust.

Je nach Anzahl verwendeter Messstrahlen können ein oder mehrere Abstände mit einer Messung bestimmt werden. Die Weglängenänderungen im Referenzarm können, wie in der WO 96/35100 beschrieben, mit einem rotierenden transparenten Würfel vor einem feststehenden Reflektor vorgenommen werden. Ein derartiger Würfel kann problemlos mit über 10 Hz rotieren. D.h. bei den meisten Messungen kann der auszumessende Gegenstand, ohne dass besondere Vorkehrungen für seine Fixierung vorgesehen werden, als in Ruhe befindlich betrachtet werden.

Der Umweg wird mit einer Umwegeinheit erzeugt, in der die geometrisch-optische Länge des Umwegs durch eine Abstandsverstellung eines Umlenkspiegels gegenüber einem der Strahlteiler veränderbar ist. Der Strahlteiler und jeder diesem zugeordnete Umlenkspiegel sind insbesondere derart zueinander ausgerichtet, dass jeder umgelenkte Messstrahl mit dem nicht umgelenkten eine einzige optische Achse innerhalb des Gegenstands hat sowie wahlweise je eine Fokussiereinheit für jeden Messstrahl, um diesen auf je einen Bereich fokussieren zu können. Eine derartige Anordnung kann zur Dicken-, Längen- und/oder Distanzmessung bzw. zur Messung eines Dicken-, Längen- und/oder Distanzprofils verwendet werden.

In der Vorrichtung wird man vorzugsweise eine Speichereinheit verwenden, in der Weglängen der Weglängenvariationseinheit abspeicherbar sind, bei denen eine Interferenz der ersten und dritten sowie zweiten und dritten Messstrahlung abspeicherbar sind. Man wird dann einen Dicken-, Längen- und/oder Distanzwert bei vorzugsweise annähernd auf einer Achse fokussierten ersten und zweiten Messstrahlen bzw. wahlweise ein Oberflächenprofil bei seitlich benachbart liegenden ersten und zweiten Strahlen aus den abgespeicherten Daten ermitteln.

Weitere Ausführungsvariationen zur Erfindung und deren Vorteile ergeben sich aus dem nachfolgenden Text. Allgemein sei bemerkt, dass die nachfolgend mit Strahlteiler bezeichneten optischen Einheiten eine Strahlteilung aber auch ein Zusammenfügen von zwei Strahlen vornehmen können.

### 30 Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Nachfolgend werden Beispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung, mit der das erfindungsgemäße Verfahren durchführbar ist, anhand von Zeichnungen näher

erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein optisches Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 2 eine Variante zur optischen Anordnung in **Figur 1**,

Fig. 3 eine weitere Variante zu den in den **Figuren 1** und **2** dargestellten Vorrichtun-

5 gen, welche hier jedoch mit zwei unterschiedlichen Zentrumswellenlängen ar-  
beitet,

Fig. 4 ein optisches Blockschaltbild analog **Figur 1**, jedoch zur Ermittlung der Phasen-  
verzögerung in einem doppelbrechenden Material,

Fig. 5 eine Variante zu den in den **Figuren 1** bis **4** dargestellten Vorrichtungen,

10 Fig. 6 eine Hilfsdarstellung zur Erklärung einer Ermittlung eines Oberflächenprofils,

Fig. 7 ein optisches Blockschaltbild einer Ausführungsvariante zur Ermittlung eines  
Oberflächenprofils zusammen mit diversen Dicken,

Fig. 8 eine vergrößerte Darstellung des in **Figur 7** gezeigten Strahlenganges unmittel-  
bar vor sowie im Auge 147,

15 Fig. 9 eine schematische Darstellung des in **Figur 7** dargestellten Strahlenganges le-  
diglich für die Randstrahlen der auf die Detektoren **172a** und **172c** fallenden  
Strahlen,

20 Fig. 10 ein optisches Blockschaltbild einer Variante der erfindungsgemäßen Vorrich-  
tungen, bei der die Strahlung größten Teils in Strahlungsleitern verläuft, wobei  
die Augenoberfläche zur Darstellung der Auftrefforte der Strahlen um 90° ver-  
dreht gezeichnet ist,

Fig. 11 eine schematische Darstellung eines Stereomikroskops eines Spaltlampenge-  
räts mit einem Messtrahlengang im Mittelkanal des Mikroskops und

Fig. 12 eine Spaltlampengerät mit einem auf das Mikroskop aufsteckbaren Adapter.

## 25 **Wege zur Ausführung der Erfindung**

In **Figur 1** ist ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit  
einer "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung dargestellt. Die optische  
Anordnung hat einen Referenzarm **1** und einen Messarm **3**, in dem der auszumessen-  
den Gegenstand **5** angeordnet ist. Eine Strahlungsquelle **7** sendet einen parallelen

Quellenstrahl **9** mit einer linear polarisierten kurzkohärenten Strahlung aus. Die Kohärenzlänge der Strahlung ist kürzer gewählt als die unten beschriebenen, auszumesenden Abstände im Gegenstand **5**. Der von der Strahlungsquelle **7** ausgehende Quellenstrahl **9** wird mit einem die Strahlungspolarisation nicht verändernden physikalischen Strahlteiler **11** in einen Referenz- und einen Gegenstandsstrahl **15** für den Messarm **3** aufgeteilt. Bei einem physikalischen Strahlteiler bleibt gegenüber einem geometrischen der ursprüngliche Strahlquerschnitt erhalten. Es wird die Lichtleistung aufgeteilt, wodurch sich auch dessen Strahldichte ändert. Der Referenzstrahl **13** wird an einer nur schematisch dargestellten, als translatorisch verschiebbaren Spiegel **17** ausgebildeten Weglängenvariationseinheit in sich selbst rückreflektiert. Im Strahlteiler **11** wird er dann mit vom Gegenstand **5** reflektierter Strahlung interferierend überlagert. Diese interferierende Strahlung **21** wird durch Fokussierung mit einer Fokussiereinheit **23** von einem Photodetektor **24** detektiert. Eine andere beispielsweise verwendbare Wegvariationseinheit **17** ist als im Hertzbereich rotierender transparenter Würfel in der WO96/35100 beschrieben und schematisch in **Figur 2** in dem dort gezeigten optischen Aufbau integriert. Anstelle eines rotierenden Würfels können selbstverständlich auch andere Weglängenvariationseinheiten verwendet werden. Es kann beispielsweise auch der hier gezeigte translatorisch "hin- und herwackelnde" Spiegel eingesetzt werden. Dieser "wackelnde" Spiegel könnte eine mit einer Spiegelbeschichtung versehene Lautsprechermembran sein. Im Quellenstrahl **9** ist zwischen Strahlungsquelle **7** und Strahlteiler **11** ein Element **25** zur Drehung der Polarisationsrichtung des Quellenstrahls **9** angeordnet. Ein weiteres Element **27** zur Drehung der Polarisationsrichtung ist zwischen Strahlteiler **11** und Weglängenvariationseinheit **17** angeordnet. Die Elemente **25** und **27** sind hier als sogenannte  $\lambda/2$ - bzw.  $\lambda/4$  Platten (Viertelwellenlängenplatte) ausgebildet.

- Im Messarm **3** ist vor dem Gegenstand **5** eine Umwegeinheit **29** eingesetzt. Die Umwegeinheit **29** hat zwei polarisationssensitive Strahlteiler **31** und **32**, zwei Fokussiereinheiten, welche symbolisch durch die Linsen **33** und **34** dargestellt sind, sowie zwei Umlenkspiegel **35** und **36**. Da in dem hier ausgeführten Beispiel die Tiefe des transparenten Gegenstands **5** bestimmt werden soll, ist die Brennweite der Fokussiereinheit **33** derart gewählt, dass deren Brennpunkt auf der Gegenstandsvorderfläche **37** liegt. Die Brennweite der Fokussiereinheit **34** ist derart gewählt, dass deren Brennpunkt auf der Gegenstandsrückseite **39** liegt. Das optische Teilsystem **43** [ ► Umlenkspiegel **35** –

Fokussiereinheit 33 – Umlenkspiegel 36  $\blacktriangleleft$ ] ist parallel zum optischen Teilsystem 44 [ ► Strahlteiler 31 – Linse 34 – Strahlteiler 32  $\blacktriangleleft$  ], wie durch den Pfeil 41 angedeutet, verschiebbar. Der optische Weg, der durch das Teilsystem 43 laufenden Strahlung ist durch eine Verschiebung in Pfeilrichtung 41 veränderbar. Da die Messstrahlung im 5 bzw. auf dem Gegenstand 5 reflektiert wird, werden die optischen Teilsysteme 43 und 44 zweimal durchlaufen. Die optische Wegdifferenz (nur Hin- oder Rückweg) wird nun derart eingestellt, dass sie dem im Gegenstand 5 auszumessenden optischen Abstand, hier der optischen Gegenstandstiefe, ungefähr entspricht.

Für die nachfolgende Beschreibung des Messverfahrens wird die Wirkungsweise der  $\lambda/2$ - bzw.  $\lambda/4$ Platten 25 und 27 vorerst außer Acht gelassen. Der von der Strahlungsquelle 7 ausgesandte, linear polarisierte Quellenstrahl 9 trifft auf den Strahlteiler 11 und wird von diesem in gleiche Teile für den Referenz- und den Messarm 1 und 3 als Referenz- und Gegenstandsstrahl 13 und 15 aufgeteilt. (Eine Aufteilung in gleiche Teile ist jedoch nicht zwingend notwendig.) Die Strahlteiler 31 und 32 sind als polarisierende Strahlteiler ausgebildet. Der Strahlteiler 31 ist nun derart ausgebildet und orientiert, dass der durch den Strahlteiler 11 geteilte polarisierte Quellenstrahl 9 mit der nun halben Strahlungsintensität als Gegenstandsstrahl 15 mit einer Polarisationsrichtung unter  $45^\circ$  auf den Strahlteiler 31 trifft. Hier wird der Gegenstandsstrahl 15 in zwei Messstrahlen 45 und 46 aufgeteilt, deren Polarisationsebenen nun  $90^\circ$  gegeneinander ge-15 dreht liegen. Der unter  $45^\circ$  polarisierte Referenzstrahl 13 enthält somit diese beiden Polarisationsrichtungen. Immer wenn eine Interferenz detektierbar ist, ist die Länge des optischen Weges ► Strahlteiler 11 – Strahlteiler 31 – Fokussiereinheit 34 – Strahlteiler 20 32 - Gegenstandsrückseite 39 und wieder zurück  $\blacktriangleleft$  gleich lang wie derjenige Weg, den der am Spiegel 17 reflektierte Referenzstrahl 13 durchläuft, wobei die optische 25 Weglänge im Referenzarm 1 im Hertzbereich mit der Weglängenvariationseinheit 17 veränderbar ist. Die Fokussiereinheit 34 kann bei gewissen Anwendungen weggelassen werden. Es kann z. B. für die Augenlängenmessung die Fokussierung des Messstrahls 46 von der Brechkraft des Auges übernommen werden. Eine Längenzuordnung ist über den jeweiligen Drehwinkel der Einheit 17 möglich. (Bei einem linear verschieb-30 baren Spiegel ist die Verschiebung am Translationsstand erkennbar.) Eine weitere Interferenz ist detektierbar, wenn analog zu den gerade gemachten Ausführungen der optische Weg [ ► Strahlteiler 11 – Strahlteiler 31 – Umlenkspiegel 35 – Fokussiereinheit 33 – Umlenkspiegel 36 - Strahlteiler 32 - Gegenstandsvorderseite 37 und wieder

zurück  $\blacktriangleleft$ ] gleich lang wie der am Spiegel 17 reflektierte Referenzstrahl 13 ist. Entspricht die Wegdifferenz durch die Umwegeinheit 29 dem Abstand von Gegenstandsvorder- zur -rückseite 37 bzw. 39, so fallen die Interferenzen bei ein- und derselben Ortslage des Spiegels 17 (Weglängenvariationseinheit) zusammen. Wenn nicht, dann 5 ergeben sich gegenüber dem tatsächlichen Abstand (Dicke) nur geringfügig unterscheidende Ortslagen.

Die optische Weglängendifferenzen der beiden optischen Wege in der Umwegeinheit 29 werden immer so eingestellt, wie sie einem zu erwartenden ungefähren Messergebnis entsprechen würden. D.h. durch die Messung wird somit immer nur die 10 Abweichung vom zu erwartenden Messergebnis ermittelt. Da diese Abweichungen immer bedeutend kleiner sind, als wenn der gesamte Weg (Abstand, Dicke, ...) ausgemessen werden muss, kann mit einer bedeutend kleineren und damit rascheren Weglängenvariation im Referenzarm gearbeitet werden. D.h. zeitlich gesehen, fallen 15 die beiden Interferenzen sehr schnell hintereinander an; sie können sogar gleichzeitig erfolgen. Da bei Abständen, Dickenmessungen, ... beim Stand der Technik immer zwei zeitlich gestaffelte Messungen vorzunehmen waren, liegt nun bei der Erfindung das 20 Messergebnis derart schnell vor, dass Ortsverschiebungen des auszumessenden Gegenstands die Messgenauigkeit nur unwesentlich beeinflussen. In der Umwegeinheit 29 sind die Strahlteiler 31 und 32, die Umlenkspiegel 35 und 36 sowie die beiden Fokusiereinheit 33 und 34 derart angeordnet, dass die beiden Fokuspunkte auf der Gegenstandsvorder- und der -rückseite 37 und 39 auf einer optischen Achse 40 liegen.

Der gerade geschilderte Vorteil ist bei einer Augenlängenmessung an den Augen von Kindern, welche in der Regel nur schwer still zu stellen sind, von großem Nutzen.

25 Ist eine Zuordnung der auftretenden Interferenzen zu den betreffenden reflektierenden Flächen gewünscht, so können anstelle des einen Photodetektors 24 zwei, jeder für eine Polarisationsrichtung, verwendet werden. Es wird dann die Strahlung der einen Polarisationsrichtung mittels eines polarisierenden Strahlteilers auf den einen Photodetektor und die Strahlung der anderen Polarisationsrichtung auf den anderen 30 Photodetektor geleitet.

Die Strahlungsreflexion kann nun an der Gegenstandsvorder- sowie an der Rückseite 37 bzw. 39 unterschiedlich hoch sein; auch können Reflexionen von Bereichen innerhalb eines Gegenstands, deren Abstand man bestimmen möchte oder so-

fern es sich um Schichten handelt, deren Dicke man ermitteln möchte, unterschiedlich sein. Um nun die reflektierte Intensität in einem gewissen Rahmen anpassen zu können, sind die  $\lambda/2$ - bzw.  $\lambda/4$  Platten 25 und 27 im Quellenstrahl 9 und im Referenzstrahl 13 vorhanden. Man kann nun die jeweilige Platte derart verstellen, dass in dem 5 Strahl, dessen Strahlung schwach reflektiert wird, mehr Intensität eingekoppelt wird.

Die Weglängenänderung im Referenzarm 1 beaufschlägt die Strahlungsfrequenz des Referenzstrahls 13 mit einer Dopplerfrequenz  $f_{\text{Doppler}}$  gemäß der Beziehung

$$10 \quad f_{\text{Doppler}} = \frac{2 \cdot f_0 \cdot v_{\text{scan}}}{c},$$

wobei  $f_0$  die Strahlungsfrequenz der Strahlungsquelle 7,  $v_{\text{scan}}$  die Weglängenänderungsgeschwindigkeit und  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist. (Mit der in der 15 WO96/35100 beschriebenen Weglängenvariationseinheit ist die Dopplerfrequenz  $f_{\text{Doppler}}$  annähernd konstant.) Diese Dopplerfrequenz weist auch das mit dem Photodetektor 24 detektierte Interferenzsignal auf. Das vom Detektor 24 erhaltene elektrische Signal kann somit mit einem elektronischen Bandpassfilter von der restlichen detektierten 20 Strahlung getrennt werden. Hierdurch verbessert sich das Signal-Rausch-Verhältnis erheblich.

Es müssen nun nicht alle Strahlverläufe, wie in **Figur 1** dargestellt, als freie "Raumstrahlen" verlaufen. Es können auch Fasern als Strahlungsleiter, wie in **Figur 2** dargestellt, verwendet werden. Analog zur Strahlungsquelle 7 wird in **Figur 2** eine Laserdiode 50, eine Superlumineszenzdiode, LED oder eine andere breitbandige Lichtquelle verwendet, deren Strahlung über einen Strahlungsleiter 51 zu einem Faserkoppler 52 geführt wird. Im Faserkoppler 52 erfolgt eine Aufteilung der Strahlung der Laserdiode 50 in die beiden Strahlungsleiter 53a und 53b, wobei der Strahlungsleiter 25 53a Bestandteil des Messarms 55 und der Strahlungsleiter 53b Bestandteil des Referenzarms 56 ist.

30 Im Strahlungsleiter 53b des Referenzarms 56 ist ein Faserpolarisationsregler 57 analog zur  $\lambda/4$ -Platte 27 integriert. An dem dem Faserkoppler 52 abgewandten Ende des Strahlungsleiters 53b ist ein Kollimator 59 angeordnet, welcher die aus dem Leiterende austretende Strahlung in einen parallelen Freiraumstrahl 60 verwandelt. Die Intensität dieses Freiraumstrahls 60, insbesondere im Verhältnis zur im Messarm 55 re-

flektierten Strahlung, kann anschließend an den Kollimator 59 mit einem Graufilter 61 (Dämpfung) und einer weiteren  $\lambda/4$ -Platte 63 verändert werden. Im Gegensatz zu einem translatorisch verschiebbaren Referenzspiegel 17 ist in **Figur 2** als Wegvariatio-  
5 nseinheit ein rotierender transparenter Würfel 65 mit einem Spiegel 66, der die auf ihn fallende Strahlung in sich selbst reflektiert, verwendet (WO 96/35100).

Im Messarm 55 ist am dem Faserkoppler 52 angewandten Ende des Strahlungsleiters 53a ein Kollimator 67 angeordnet, welcher die aus dem Leiterende austretende Strahlung in einen parallelen Freiraumstrahl 69 umformt. Der Freiraumstrahl 69 wird, wie bereits oben ausgeführt, mit einer zur Umwegeinheit 29 analog ausgebildeten  
10 Umwegeinheit 70 in zwei unterschiedliche Laufzeiten aufweisende Messstrahlen aufgespalten und wieder mit einer gemeinsamen optischen Achse als gemeinsame Strahlkonfiguration 71 überlagert. Die die beiden Messstrahlen aufweisende Strahlkonfiguration 71 durchläuft ein Linsensystem 72 zur Strahldurchmesserminimierung auf den Polygonflächen eines rotierenden Polygonspiegels 73. In Folge der Rotation des Polygon-  
15 spiegels 73 wird die Strahlkonfiguration 71 über das Auge 75 in der dort gezeigten Pfeilrichtung 76 abgelenkt. Es kann somit ein Augenlängenprofil aufgenommen werden. Mit den abgespeicherten Werten einer Oberfläche kann mit Bezug auf eine Referenzebene, wie unten beschrieben (siehe **Figur 6**), deren Oberflächenprofil ermittelt werden. Mit dem Linsensystem 77 und einem Linsensystem 78 im Umweg wird eine  
20 Anpassung der Fokuspunkte der beiden Messstrahlen derart vorgenommen, dass der den Umweg aufweisende Strahl infolge der Linsensysteme 67 und 78 sowie der Linsensysteme 72 und 77 eine Fokussierung auf die Hornhaut 79 des Auges 75 und der den Umweg nicht aufweisende Messstrahl auf den Augenhintergrund fokussiert ist. Hiermit ist dann eine Augenlängenmessung vornehmbar.

25 Die im Messarm 55 rückreflektierte Strahlung vom Auge 75 wird dann mit der im Referenzarm 56 rückreflektierten und mit einer Dopplerfrequenz überlagerten Strahlung im Faserkoppler 52 interferierend überlagert und vom über einen Strahlungsleiter 80 mit dem Faserkoppler 52 verbundenen Detektor 82 analog der obigen Ausführung detektiert.

30 Anstelle nur eines einzigen Polygonspiegels können selbstverständlich auch zwei verwendet werden, um ein zweidimensionales Abfahren (Abscannen) zu erreichen. Anstelle eines regulären Polygonspiegels kann auch ein Polygonspiegel verwendet werden, dessen Spiegelflächen einen sich sukzessive verändernden Neigungswin-

kel gegenüber der Rotationsachse aufweisen, um ein zeilenartiges Abscannen zu erreichen. Die Rotationsgeschwindigkeiten zwischen dem "Würfel" der Wegvariationseinheit und dem Polygonspiegel müssen nicht koordiniert sein; man muss für die computerisierte Auswertung nur die jeweiligen Positionen wissen.

5 Anstelle eines Polygonspiegels können auch sogenannte Galvanometerspiegel-, elektro-optische und akusto-optische Ablenker verwendet werden. Auch kann ein elektro-magnetisch bewegter Spiegel verwendet werden, der auf einer Kugeloberfläche derart gelagert ist, dass eine zweidimensionale Ablenkung möglich ist. Vorteil dieser Anordnung gegenüber einem Polygonspiegel ist ein Drehpunkt nahe der Spiegelober-  
10 fläche.

Figur 3 zeigt zu den in den Figuren 1 und 2 dargestellten optischen Anordnungen eine weitere Ausführungsvariante der Erfindung, bei der zwei Strahlungsquellen 83a und 83b mit unterschiedlichen Zentrumswellenlängen verwendet werden. Die Spektren der verwendeten Lichtquellen sollten sich möglichst wenig überlappen. Analog zum optischen Aufbau in Figur 2 wird auch hier mit Strahlungsleitern gearbeitet. Die von den beiden Strahlungsquellen 83a und 83b ausgehenden Strahlungsleiter 84a und 84b werden in einem ersten Faserkoppler 85 in einen Strahlungsleiter 86 eingekoppelt, der mit einem weiteren Faserkoppler 87 verbunden ist. Vom Faserkoppler 87 geht ein Messarm 89 und ein Referenzarm 90 weg sowie ein Strahlungsleiter 91 zu  
15 einem Detektor 92. Im Gegensatz zu den bereits oben beschriebenen Ausführungsvarianten hat hier der Messarm einen weiteren Faserkoppler 93, der die von den beiden Strahlungsquellen 83a und 83b kommenden Strahlungen mit unterschiedlicher Zentrumswellenlänge wieder nach den Zentrumswellenlängen in zwei Strahlungsleiter 94a und 94b auf trennt. Die Enden der beiden Strahlungsleiter 94a und 94b enden in einer  
20 Umwegeinheit 95. Die Umwegeinheit 95 hat für die aus den Enden der Strahlungsleiter 94a und 94b austretenden Freiraumstrahlungen 96a und 96b je ein Linsensystem 97a und 97b. Die Freiraumstrahlung 96b wird dann über einen Umlenkspiegel 99 mit einem wellenlängenselektiven Strahleiter (-vereiniger) 100 zu einer einzigen optischen Achse 102 aufweisenden Strahlkonfiguration 101 vereinigt. Die Linsensysteme 97a und  
25 97b sind nun gerade derart ausgewählt, dass eine Fokussierung der betreffenden Freiraumstrahlung 96a bzw. 96b auf die betreffende Trennfläche, hier beispielsweise 107 und 108, zur Dicken- bzw. Abstandbestimmung erfolgt. Eine Verstellung des Umwegs ist in der hier beschriebenen Ausführungsvariante einfach dadurch zu erzielen, dass z.  
30

B. lediglich der Umlenkspiegel 99 samt dem Linsensystem 97b und dem Ende des Strahlteilers 94b bezüglich des Strahlteilers 100 gemäß der Darstellung in **Figur 3** nach oben verschoben wird. Dies ist einfach durchführbar, da die Strahlungsleiter 94a und 94b flexibel sind.

5 Die mit dem Photodetektor 92 erhaltenen elektrischen "Interferenzsignale" werden dann mit einer Auswerteelektronik 103 weiter verarbeitet, eventuell auf einem Bildschirm 104 dargestellt und können über ein Datenübertragungsnetz 105 zur weiteren Ausarbeitung und Abspeicherung weitergegeben werden.

Zur Messung an zwei in axialer Richtung getrennt liegenden Bereichen in einem 10 Gegenstand ist die oben beschriebene unterschiedliche Polarisation sowie auch die beiden unterschiedlichen Wellenlängen im umgelenkten sowie im direkten Strahl des Messarms nicht notwendig. Auf die  $\lambda/4$ - und  $\lambda/2$ -Platten kann dann ebenfalls verzichtet werden. Die polarisationssensitiven bzw. wellenlängensensitiven Strahlteiler bzw. Faserkoppler können dann durch normale physikalische Strahlteiler ersetzt werden. Ein 15 Vorteil eines Arbeitens mit unterschiedlichen Strahleigenschaften [unterschiedliche Frequenz, unterschiedliche Polarisationsrichtung] liegt in einer Empfindlichkeitserhöhung um den Faktor 8. Wird nämlich ununterscheidbare Strahlung verwendet, so geht auf dem Hinweg die Hälfte der Strahlung beim Strahlteiler 32 bzw. 100 und auf dem Rückweg geht zusätzlich zweimal die Hälfte verloren. Nämlich zuerst beim Strahlteiler 20 32 bzw. 100 sowohl für die von der Gegenstandsvorderseite, als auch für die von der Gegenstandsrückseite reflektierten Strahlung. Durch den "falschen" Umweg ist diese Strahlung für die interferometrische Detektion wegen der "falschen" Weglänge "verloren". Ferner geht noch einmal die Hälfte der Strahlung beim Strahlteiler 31 oder beim 25 Faserkoppler 93 sowohl für die von der Gegenstandsvorderseite als auch für die von der Gegenstandsrückseite reflektierte Strahlung verloren. Ist eine ausreichende Strahlungsintensität vorhanden und erträgt der Gegenstand diese hohe Intensität, so ist dies eine bevorzugte Ausführungsvariante, da hier die zu verwendenden optischen Komponenten preisgünstiger sind.

Soll die Phasenverzögerung in einem doppelbrechenden Material eines Gegenstands 30 109 gemessen werden, so wird eine Vorrichtung mit einem optischen Aufbau gemäß **Figur 4** verwendet. Der in **Figur 4** dargestellte Aufbau entspricht bis auf die nachfolgend angeführten Unterschiede demjenigen der **Figur 1**.

Die Strahlteiler 31 und 32 des Aufbaus von **Figur 1** sind in **Figur 4** die analogen Strahlteiler 111 und 112. Ferner sind die den Linsensystemen 33 und 34 entsprechenden Linsensysteme 113 und 114 derart ausgebildet, dass die durch sie erzeugten Brennpunkte in einem Bereich, hier z.B. auf der Probenrückseite, zusammenfallen; es soll ja eine Phasenverzögerung zweier Strahlungen mit zueinander senkrecht stehender Polarisationsebenen ermittelt werden. Anstelle eines einzigen Photodetektors in **Figur 1** sind in **Figur 4** jetzt für jede Polarisationsrichtung ein Photodetektor 116 und 117 vorhanden, wobei die auf sie fallende, von der Probenrückseite 115 reflektierte Strahlung, der die Referenzstrahlung interferierend überlagert wird, durch einen polarisierenden Strahlteiler 119 aufgeteilt wird.

Die von der Probenrückseite 115 reflektierte p-polarisierte Strahlung wird mit vernachlässigbaren Verlusten auf dem kurzen Weg durch die Umwegeinheit 120 über den Strahlteiler 119 auf den Photodetektor 116 gestrahlt. Die ebenfalls von der Probenrückseite 115 reflektierte s-polarisierte Strahlung – die Polarisationsebene der s-Strahlung liegt senkrecht zu derjenigen der p-Strahlung – wird ebenfalls mit vernachlässigbaren Verlusten auf dem langen Weg durch die Umwegeinheit 120 über den Strahlteiler 119 auf den Photodetektor 117 gestrahlt. Da ausschließlich von der Probenrückseite 115 reflektierte Strahlung detektiert wird, ist die Umwegeinheit 120 derart einzustellen, dass die optischen Wegunterschiede zwischen der s- und p-Strahlung möglichst klein sind. Aus der durch die Photodetektoren 116 und 117 gemessenen Intensität der betreffenden reflektierten Intensität kann dann auf die Phasenverzögerung des doppelbrechenden Materials geschlossen werden.

Soll neben einer der oben beschriebenen Messungen zusätzlich eine Betrachtung vorgenommen werden, so kann eine Vorrichtung mit einem optischen Aufbau, wie in **Figur 5** gezeigt, beispielsweise verwendet werden. Die optische Anordnung der **Figur 5** entspricht im wesentlichen den in den **Figuren 1 bis 4** gezeigten Anordnungen. Eine den Umwegeinheiten 29; 70 und 120 entsprechende Umwegeinheit 118 ist lediglich angedeutet. Die Ausführungsvariante gemäß **Figur 5** weist jedoch die nachfolgenden Unterschiede auf. Zur Beleuchtung des Gegenstands, hier eines Auges 121, ist nach einem, in **Figur 2** bereits beschriebenen Polygonspiegel 123 ein Strahlteiler 124 vorhanden, über den die Beleuchtungsstrahlung 125 einer Strahlungsquelle 126 eingekoppelt wird. Mit einer Kamera 127 kann der auszumessende Bereich betrachtet und auf einem nicht dargestellten Monitor wiedergegeben werden. Der Beobachtungsstrahl

129 wird mit einem Strahlteiler 130 auf die Kamera 127 gelenkt. Erscheint der Beleuchtungsstrahl auf dem Monitor 128 in einem bestimmten örtlichen Toleranzbereich, so ist das Auge ausgerichtet und die Messung kann ausgelöst werden.

Sollen sehr kleine Dicken oder Abstände ermittelt werden, kann es vorkommen, 5 dass der in den **Figuren 1 bis 5** gezeigte Umweg in der dort skizzierten Umwegeinheit infolge der geometrischen Abmessungen von zu verwendenden optischen Komponenten zu lang ist. In diesem Fall kann analog zu dem dort jeweils gezeigten großen optischen Weg auch der kurze optische Weg verlängert werden, in dem auch hier zwei 10 verschiebbare Umlenkspiegel in den Strahlengang eingesetzt werden. Mit einer derartigen Umweganordnung können dann beliebig kurzer und langer Umweg vertauscht werden.

Die oben beschriebene erfindungsgemäße Vorrichtung kann nebst ihren Ausführungsvarianten zusammen mit bereits bestehenden Geräten verwendet werden. Diese Vorrichtung kann man z. B. in ein Spaltlampengerät für die Augenuntersuchung 15 einbauen oder mit diesem kombinieren. Es kann dann der Messstrahl als Freiraumstrahl entweder via Strahlteiler in den Beleuchtungsstrahlengang, beim Mikroskop ebenfalls via Strahlteiler in einen Beobachtungsstrahlengang oder beim Mikroskopobjektiv oder mit einem Umlenkspiegel 199 in einen Mittelkanal 200 eines Stereomikroskops 202 eines Spaltlampengeräts, wie in **Figur 11** gezeigt, eingekoppelt werden. Der Mittelkanal 200 liegt zwischen den beiden Strahlengängen 201a und 201b des Stereomikroskops 202. In **Figur 11** ist zudem noch eine Fixationslichtquelle 203 gezeigt. Durch eine Betrachtung der Fixationsquelle 203 richtet der Patient sein Auge 205 auf einen vorgegebenen Ort aus und hält es meistens auch auf diesen unbeweglich fixiert. Der 20 Messstrahl 206 tritt (analog einer Vorrichtungsanordnung wie sie **Figur 2** zeigt) aus einer Faser 207 aus und durchläuft eine analog zur Umwegeinheit 29, 70, 89 oder 120 ausgebildete, nicht explizit dargestellte Umwegeinheit 209 mit einem optionalen transversalen Scanner. Die restlichen Elemente der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind in einem kompakten Basisgerät 210 eingebaut. Bei der Wahl der in der Umwegeinheit 209 verwendeten Linsen muss lediglich die Linsenwirkung der Objektivlinse des Spaltlampenmikroskops 202 mit berücksichtigt werden.

Durch die Verstellung des Spaltlampengeräts in den drei räumlichen Koordinaten, bevorzugt mit einem sogenannten Lenkhebel, wird dann auch der Messstrahl entsprechend verstellt. Anstatt das ganze Spaltlampengerät zusammen mit dem Mess-

strahl zu verstellen, können auch beide unabhängig voneinander verstellt werden. Wie bereits oben angedeutet, verwendet man bei einer Verstellung nur des Messstrahls bevorzugt eine "faseroptische" Ausführung analog zur Darstellung in **Figur 3**.

Bei einer Kombination mit einem mit Placidoringen ausgerüsteten Videokeratographen 5 erfolgt eine Einkopplung des Messstrahls in Richtung der Beleuchtungssachse des Videokeratographen mit Hilfe eines kleinen Strahlteilers.

Anstatt den Messstrahlengang, wie oben beschrieben in ein Stereomikroskop zu integrieren, kann er auch bei einem Spaltlampengerät 213 über einen auf das Mikroskop 214 aufsteckbaren Adapter 215 zugeführt werden, wie in **Figur 12** skizziert ist. 10 Der Adapter 215 beinhaltet die Funktionen der Umwegeinheit 29, 70, 95 oder 120.

Aufgrund der obigen Ausführung kann die Vorrichtung gemäß den **Figuren 1** bis 5 mit diversen Geräten kombiniert werden. Sie kann jedoch auch, da der Messvorgang äußerst rasch erfolgt, als Handgerät ausgebildet werden, welches dann lediglich vor einen auszumessenden Gegenstand gehalten wird. Bei einer Ausbildung als Handgerät bzw. als modifiziertes Spaltlampengerät (**Figur 12**) wird man bevorzugt die in 15 **Figur 3** gezeigte Ausführungsvariante mit Faserleitern verwenden, da dieses eine große Bewegungsfreiheit ergibt. In diesem Fall sind vorzugsweise die bewegbaren Fasern als polarisationserhaltende Fasern ausgebildet. Es kann beispielsweise auch eine Kombination mit einem sogenannten Kontaktglas erfolgen, welches in der Hand 20 halten an die Hornhautoberfläche des menschlichen Auges angelegt wird.

Um diese Vorrichtung möglichst universell verwendbar auszuführen, müsste nun, da die Länge des Messarmes (Abstand der Umwegeinheit zum auszumessenden Gegenstand) stark variieren kann, das Weglängenvariationselement einen großen Variationsweg durchfahren können. Interferenzen ergeben sich nämlich nur, wenn Referenzweg und entsprechender Messweg gleich lang sind. Diese Differenzen muss das Weglängenvariationselement ausgleichen können. Ein großer Variationsweg macht einerseits die Weglängenvariationseinheit teuer in ihrer Ausführung und verlängert zudem die Messzeit. 25

Dieser Nachteil kann umgangen werden, wenn versucht wird, den Messweg innerhalb kleiner Toleranzwege zu halten. Zwei Strahlen der Strahlungsquelle können nun derart angeordnet werden, dass sie sich erst im Messgebiet auf dem auszumessenden Gegenstand treffen, wenn dieser sich innerhalb eines vorgegebenen Abstands 30

befindet. Man wird hierzu die zwei Justierstrahlen (Pilotlaser) gegen die optische Achse geneigt einstrahlen. Zur Justage werden dann zwei Punkte auf einer streuenden oder reflektierenden Oberfläche des Messobjekts gesehen, welche erst bei richtiger Entfernungseinstellung zu einem Punkt verschmelzen.

5        Bei Verwendung eines Betrachtungsmikroskops kann der Umweg in der Umwegeinheit optimal dadurch eingestellt werden, dass der Strahldurchmesser jedes Messstrahls minimal auf den betreffenden Bereich eingestellt wird. Dieser Vorgang kann auch automatisiert werden; z B. mit einer CCD-Kamera, einer Auswerte- und Steuereinheit und einem Aktuator. Die Steuereinheit, mit der der Aktuator gesteuert 10 wird, regelt die Distanz zwischen der Umwegeinheit und dem Messobjekt (Gegenstand).

Anstatt nur jeweils einen Abstand bzw. eine Dicke auszumessen, können auch mehrere ausgemessen werden, indem anstelle nur eines Umwegs mehrere vorgesehen werden. Weitere Umwege können erhalten werden, indem jeweils ein Umlenkspiegel durch einen Strahlteiler mit entsprechenden Eigenschaften ersetzt wird und dann wieder ein Umlenkspiegelpaar oder nur ein einziger Umlenkspiegel bei der Fa- 15 seranordnung gemäß **Figur 3** verwendet wird.

In den vorgängig beschriebenen **Figuren 1 bis 5** werden Messungen ausgeführt, bei denen eine Dicke ermittelt wird. Hierzu wird der erste Messstrahl auf einen 20 ersten Punkt fokussiert und der zweite Messstrahl, in der Regel derjenige, welcher den Umweg nicht durchlaufen hat, auf einen zweiten, nach dem ersten Punkt liegenden Punkt fokussiert. Erster und zweiter Punkt liegen hier auf einer optischen Achse. Man kann nun die erfindungsgemäße Vorrichtung auch derart aus- und umbilden, dass die Fokuspunkte der beiden Messstrahlen nebeneinander liegen. Werden die Messstrahlen seitlich nebeneinander gelegt, so kann bei einer Oberfläche, welche wenigstens 25 einen Mindestreflexionsfaktor von  $10^{-4}\%$  hat, ein Oberflächenprofil bestimmt werden. Es wird hierzu, wie in **Figur 6** angedeutet ist, der Abstand  $d_1$  eines ersten reflektierenden Ortes 135 des ersten Messstrahls 136 auf der Oberfläche 137 von einem Referenzpunkt bzw. einer Referenzebene 139 und der Abstand  $d_2$  des zweiten reflektierenden 30 Ortes 140 des zweiten Messstrahls 141 von der Referenzebene 139 ermittelt. Beide Messwerte werden in einer Speichereinheit 143 abgespeichert. Die Abstandsdi- fferenz  $d_1$  und  $d_2$  der beiden Messstrahlen 136 und 141 von der Referenzebene 139 in Relation zu deren gegenseitigen Abstand  $h$  ergibt dann zwei Oberflächenkoordinaten.

Aus diesen beiden Koordinaten kann dann auf den Oberflächenverlauf mit Näherungsverfahren geschlossen werden, sofern die Art der Oberfläche bekannt ist. Die Art der Oberfläche ist beim menschlichen Auge bekannt. Werden mehrere Messstrahlen verwendet oder mehrere Messungen mit seitlich versetzten Messstrahlen vorgenommen, 5 kann die Oberfläche genauer ermittelt werden.

In der Ophthalmologie spielt bei der Anpassung von intraokulären Linsen in der Katarakt-Behandlung nicht nur die Augenlänge und die Vorderkammertiefe eine wesentliche Rolle, sondern auch das Krümmungsprofil der Hornhaut, vor allem in deren Zentrum. Alle diese Werte können mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung bestimmt 10 werden.

Zur Ermittlung des Profils genügen im Minimalfall zwei bestimmte Krümmungsradien der zentralen Hornhaut, nämlich ein Krümmungsradius in horizontaler und einer in vertikaler Richtung. Sind diese beiden Radien verschieden, spricht man von einem (zentralen) Astigmatismus. Die Krümmungsradien können mit Hilfe bekannter geometrischer Algorithmen ermittelt werden, wenn pro zu bestimmenden Kreisbogen, wie bereits oben ausgeführt, ausgehend von einer Referenzebene (hier 139) der Abstand 15 unter einem vorgegebenen Winkel (hier der normale Abstand  $d_1$  und  $d_2$ ) und der Abstand (hier  $h$ ) der Kurvenpunkte (hier 135 und 140) von einander bekannt sind. Die Abstände  $d_1$  und  $d_2$  sind aus dem augenblicklichen Ort des reflektierenden Spiegels in 20 der betreffenden Weglängenvariationseinheit bei auftretender Interfenzerscheinung ermittelbar. Als Referenzwert wird eine vorgegebene Spiegelstellung verwendet. Wird eine Weglängenvariationseinheit mit einem rotierenden Würfel (beispielsweise wie in der WO 96/35100 beschrieben) verwendet, wird man bevorzugt dessen Nullgrad-Position als Referenz verwenden, bei der der einfallende Strahl senkrecht auf die erste 25 Würfeloberfläche trifft. Anstelle vom minimal drei Messstrahlen zur Ermittlung der beiden zentralen Krümmungsradien können auch mehrere Messstrahlen verwendet werden, um eine exaktere Krümmungsradienmessung vorzunehmen. Auch kann gleichzeitig Dicken- und Radienmessung vorgenommen werden, wie unten ausgeführt wird.

30 Die in **Figur 7** an Hand eines optischen Blockschaltbildes beschriebene Vorrichtung dient zur Ermittlung eines Oberflächenprofils sowie diverser Dicken bei einem transparenten bzw. diffusiven Gegenstand, hier einem menschlichen Auge 147. Der in **Figur 7** schematisch dargestellte optische Aufbau ähnelt in weiten Teilen demjenigen

der **Figur 1**. Auch hier ist eine Strahlungsquelle **149** vorhanden, welche beispielsweise eine supertlumineszente Diode sein kann. Die Strahlung der Strahlungsquelle **149** wird hier jedoch über einen Strahlungsleiter **150** geführt, der eine Ortsabhängigkeit von Strahlungsquelle **149** und der Mess- und Auswerteeinheit ermöglicht. Die aus den Strahlungsleiter **150** austretende Strahlung wird mit einer Linse **151** kollimiert und mit einer zweiten, nachfolgenden Linse **152** fokussiert. Zwischen dem Fokuspunkt **153** und der Linse **152** ist zur "Drehung" der Polariationsrichtung der Strahlung eine  $\lambda/2$ -Platte **154** angeordnet. Anschließend folgt ein Strahlteiler **155**, mit dem die Strahlung in den Messarm **157a** und den Referenzarm **157b** aufgeteilt wird. Der Referenzarm **157a** hat auf den Strahlteiler **155** folgend eine  $\lambda/4$ -Platte **159**, gefolgt von einer Linse **160**, mit der die vom Strahlteiler **155** kommende Strahlung kollimiert wird. Als Weglängenvariations-  
10 einheit **161** ist schematisch lediglich ein linear verstellbarer Spiegel angedeutet; es können jedoch auch anders ausgebildete Einheiten, wie beispielsweise der rotierende Würfel verwendet werden.

15 Im Messarm **157b** folgt auf den Strahlteiler **155** eine Kollimationslinse **162** und dann eine analog zur Umwegeinheit **29** aufgebaute Umwegeinheit **163**, mit zwei polarisierenden bzw. wellenlängensensitiven Strahlteilein **164** und **165**, zwei Umlenkspiegeln **166** und **167** und einer Fokussierlinse **169**.

20 Die vom Auge rückreflektierte Strahlung wird mit der vom Referenzarm **157a** kommenden Referenzstrahlung überlagert und im Detektorarm **157c** über eine Linse **170** auf ein Detektionsarray **171** geführt, wobei der Einfachheithalber nur eine lineare und keine zwei dimensionale Darstellung von lediglich drei nebeneinander angeordneten Detektoren **172a**, **172b** und **173c** vorgenommen worden ist. Jedem Detektor **172a**, **172b** und **173c** ist eine elektronische Schaltung **173** beispielsweise mit einem  
25 Verstärker, Dopplerfrequenzfilter, Gleichrichter und Tiefpassfilter nachgeschaltet. Die detektierten Messsignale werden dann über einen Analog-Digital-Wandler **174** und einen Computer **175** mit der Speichereinheit **143** verarbeitet und auf einem Bildschirm **176** dargestellt.

30 Mit der in **Figur 7** schematisch dargestellten Vorrichtung kann die Augenlänge, die Korneadicke, die Vorderkammertiefe, die Linsendicke, die Glaskörpertiefe und die Retinaschichtdicke gleichzeitig an verschiedenen Stellen gemessen werden. Da an verschiedenen Stellen gemessen werden kann, können auch Oberflächenprofile rechnerisch ermittelt werden. Um dies zu verdeutlichen sind drei seitlich versetzte Strahlen-

gänge ausgezogen, gestrichelt und punktiert dargestellt, welche auf die Detektoren 172a, 172b und 172c geführt werden. Der gestrichelte Strahl kommt, wie der besseren Übersichtlichkeit wegen vergrößert in **Figur 8** dargestellt, von den Orten 177a, 177b, 177c, 177d und der Retina 179. Je nach Stellung der Spiegel 166 und 167 bzw. des 5 Spiegels in der Wegvariationseinheit wird dann vom Detektor 172a ein Interferenzsignal registriert. Für die Orte 180a bis 180d und 181a bis 181d gilt analoges. Mit Hilfe eines Detektorarrays bestehend aus  $m \times n$  Photodetektoren ist es möglich  $m \times n$  Orte auf oder im Auge 147 z. B. auf der Korneavorderfläche 182, der Korneahinterfläche 10 183, der Augenlinsenvorder bzw. -hinterfläche 184 und 185 gleichzeitig zu messen und auszuwerten. Nach einer gewissen Zeitdauer, welche abhängig ist von der Bewegungsgeschwindigkeit des Spiegels in der Wegvariationseinheit 161, werden dann die zu den mit "b", dann mit "c", mit "d" gekennzeichneten Orte detektiert und ausgewertet.

Die Linsen 160 und 162 können je nach Verwendung als ein- oder zweidimensionales Linsenarray ausgebildet sein.

15 Zum besseren Verständnis des Messvorganges sind in **Figur 9** zusätzlich die "Strahlenbegrenzungen" zum und vom Ort 177a ausgezogen sowie zum und vom Ort 181a punktiert im Referenz-, Mess- und Detektorarm 157a, 157b und 157c dargestellt. Die ausgezogenen bzw. punktierten Linien zeigen die zwei Randstrahlen im Referenz-, Mess- und Detektorarm 157a, 157b und 157c, welche die Messung der Raum- 20 koordinate des Ortes 177a bzw. 181a ermöglichen, d. h. mit diesen Strahlen interferieren.

25 In **Figur 10** ist eine als faseroptisch paralleles kurzkohärentes Reflektormeter zu bezeichnende Vorrichtung skizziert. Diese Ausführungsvariante der Erfindung erlaubt beispielsweise die simultane Messung von vier zentralen Krümmungsradien der Hornhautvorderfläche in horizontaler (links und rechts) und vertikaler (oben und unten) Richtung. Zusätzlich ist auch die simultane Messung von vier zentralen Krümmungsradien der Hornhautrückseite möglich. Diese Vorrichtung hat fünf  $2 \times 2$  Singelmodefaserkoppler 190, fünf Strahlungsquellen 191a bis 191e, fünf Detektoren 192a bis 192e mit zugehörender Schaltung 193a bis 193e, Analog-Digital-Wandler 194, Computer 195 30 und Anzeige 196. Die restlichen Elemente und Einheiten (insbesondere 161 und 163), entsprechen denjenigen der **Figur 7**.

Die Eichung der oben beschriebenen Vorrichtungen kann dadurch erfolgen, dass in den Referenzarm (z.B. 1 oder 157a) die Strahlung einer hochkohärenten

Strahlungsquelle (z. B. ein distributed feedback Laser) mit einem (nicht dargestellten) Strahlteiler eingekoppelt wird. Die eingekoppelte Strahlung interferiert dann mit einem Strahlungsteil, der an einem beliebigen Ort zwischen diesem Strahlteiler und dem Weglängenvariator an einem feststehenden Reflektor reflektiert wird. Die Kohärenz der 5 hochkohärenten Strahlungsquelle ist größer als die Wegvariationslänge des Variators. Über den Detektoren (oder auf einem separat hierfür eingerichteten Detektor) läuft 10 dann ein Interferenzstreifenmuster. Der Abstand jeweils zweier Interferenzstreifen entspricht dann jeweils einer halben Wellenlänge. Durch ein (automatisches) Auszählen dieser Streifen ist eine Wegeichung des Weglängenvariators möglich. Da die hochkohärente Strahlung nicht auf das Auge des Patienten gelangen kann, kann deren Strahlungsleistung relativ hoch sein, so dass diese Detektion unkritisch ist. Die Wellenlänge 15 der hochkohärenten Strahlung kann (muss es aber nicht) die gleiche Wellenlänge wie die für die Augenmessung verwendete kurzkohärente Strahlung haben.

Die mit den oben beschriebenen erfindungsgemäßen Vorrichtungen ermittelten 15 Dicken der Hornhaut können vorzugsweise in eine Beratung von Patienten einfließen, bei denen eine refraktive Chirurgie mit LASIK (Laser-assisted *in situ* Keratomileusis) vorgenommen werden soll, in dem eine individuelle Berechnung eines Unterschieds zur kritischen Hornhautdicke mit Blick auf die aktuelle Hornhautdicke erfolgt. Hierzu wird man vorzugsweise die nachfolgenden neuen Schritte vornehmen:

- 20 1. Es wird eine präoperative zentrale Hornhautdicke  $d_z$  mit einer der Vorrichtungen, wie sie die **Figuren 1 bis 5, 7 oder 10** zeigen, ermittelt.
2. Von der ermittelten Hornhautdicke  $d_z$  wird die bei LASIK übliche mittlere Flapdikke  $d_f$  von typischerweise 160  $\mu\text{m}$  (einstellbar) abgezogen.
3. Es wird ein (maximal möglicher) Pupillendurchmesser ermittelt, während dem das 25 Auge typischen nächtlichen Lichtintensitätsbedingungen ausgesetzt ist. Der "nächtliche Pupillendurchmesser" kann durch Abdunkeln des Untersuchungsraums mit einer an die erfindungsgemäßen Vorrichtungen bzw. deren Ausführungsvarianten angeschlossenen TV-Kamera ausgemessen werden. Eine derartige Kamera kann z. B. im Detektorarm via Strahlteiler mit einem entsprechenden Linsensystem angedockt werden. Die Messung des Pupillendurchmessers ist optional. Für eine Beratung können auch Standardwerte verwendet werden.

4. Es wird nun ein optimaler Ablationsdurchmesser **S** auf der Hornhaut festgelegt, der größer sein muss als der nächtliche Pupillendurchmesser, um nach der Ablation Haloerscheinungen zu vermeiden.
5. Die mit LASIK zu erreichende Korrektur in Dioptrien ist aus vorgängigen Messungen (z. B. durch eine Kenntnis der Brechkraft einer bereits verwendeten Brille oder Kontaktlinse, welche der Patient bereits besitzt) bekannt.
6. Gemäß der Formel  $t_0 = - (S^2 D) / 3$  wird die für die gewünschte Korrektur notwendige zentrale Abtragungstiefe  $t_0$  [in Mikrometer] für die gewünschte Korrektur berechnet, wobei **S** der optimale Ablationsdurchmesser in Millimeter und **D** die gewünschte Dioptrienänderung infolge der Ablation ist.
7. Es wird jetzt die zentrale stromale Restdicke  $d_s = d_z - d_f - t_0$  berechnet, welche nach der LASIK-Operation erhalten werden würde.
8. Es wird abgeklärt, ob die Restdicke  $d_s$  über einer kritischen zentralen stromalen Restdicke  $d_k$  liegt. Eine mögliche Definition für die kritische zentrale stromale Restdicke  $d_k$  ist beispielsweise  $d_k = a \cdot d_z - b$ , wobei  $a = 0,58$  und  $b = 30 \mu\text{m}$  als Standardwerte angenommen werden.
9. Ist nun  $d_s$  größer als  $d_k$  kann eine LASIK-Operation empfohlen werden.

Die oben angeführten Verarbeitungsschritte können selbstverständlich über einen Rechner automatisiert werden.

20 Das Vorgehen bei einer Hyperopiekorrektur erfolgt analog. Die Hornhautdicke muss dann jedoch peripher an der Stelle der maximalen Abtragung gemessen werden; die unter Punkt 6 angegebene Formel ist dann entsprechend zu ersetzen.

25 Den oben angeführten Dicken- und Profilmessungen am Auge kann eine Bestimmung dessen Brechkraftverteilung hinzugefügt werden. Um dies zu erreichen, wird die Linse **162** in **Figur 7** durch ein (nicht dargestelltes) Linsenarray mit  $p \times q$  Linsen ersetzt. Hierdurch wird die von der Strahlungsquelle **149** kommende Strahlung in  $p \times q$  getrennte (nicht dargestellte) Teilstrahlen auf das Auge abgebildet. Das Linsenarray ist auf das Auge zu- bzw. von diesem wegbewegbar. Es wird nun in eine derartige Position gebracht, dass eine Fokussierung wenigstens teilweise auf der Retina erfolgt. An 30 einem Ort zwischen der Augenoberfläche und der Linse **170** wird nun ein weiterer Strahlteiler eingesetzt und die Retina mit einer TV-Kamera betrachtet. Falls nun die

örtliche Verteilung der Lichtpunkte auf der Retina von der durch das Linsenarray erzeugten Punktverteilung abweicht, ist die Brechkraftverteilung oder die Abbildungseigenschaft des Auges nicht ideal, d.h. das Auge bildet eine auf die Kornea auftreffende ebene Wellenfront nicht optimal ab. Diese Abweichung (z. B. sphärische Aberration, 5 Koma usw.) kann dann auf einem Monitor dargestellt werden.

Bekannte Tonometer (Augendruckmessgeräte) haben den Nachteil, dass sie den intraokularen Druck nur indirekt messen können. Die Messung erfolgt beispielsweise über ein Kraft, welche notwendig ist, um eine Hornhautoberfläche auf einer vorgegebenen Fläche abzuplatten (Applanationstonometer). Die "abplattende" Kraft ist aber 10 abhängig von der Hornhautdicke und der Krümmung der Hornhaut. Die bekannten Tonometer gehen von einer standardisierten Hornhautnormaldicke und –normalkrümmung aus. Bei einer Abweichung der Hornhaut von den Standardwerten stimmt dann ein derart ermittelter Augeninnendruck nicht mit dem tatsächlichen überein. Je dicker oder je stärker gekrümmmt die Hornhaut ist, desto stärker weicht der bekanntermaßen 15 ermittelte Innendruck vom tatsächlichen nach oben ab. Das kann dazu führen, dass wegen vermeintlich zu hohem Augendruck Medikamente zur Augendrucksenkung verabreicht werden, welche nicht nötig bzw. sogar schädlich sind. Diese Fehlmessung bzw. Fehlinterpretation kann jedoch auch dazu führen, dass beispielsweise ein Glaukom erst verspätet diagnostiziert wird.

20 Er wird nun vorgeschlagen, die erfindungsgemäße Vorrichtung mit einem Tonometer zu kombinieren. Der mit einem bekannten Tonometer gemessene ("falsche") Augeninnendruck wird rechnerisch unter Verwendung der mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ermittelten Hornhautkrümmung und der Hornhautdicke korrigiert. Die Korrektur kann durch eine Eingabe der Werte in einen Rechner erfolgen oder automatisch 25 durch eine elektronische Verknüpfung der beiden Geräte.

Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen, ihre Ausführungsvarianten sowie ihre Messgeräte können vernetzt werden, wodurch auch eine Aufbereitung und Abspeicherung von Daten auch an entfernten Orten vorgenommen und mit anderen Daten verglichen werden kann.

30 Die erfindungsgemäße Vorrichtung dient wie bereits oben teilweise erwähnt zur ophthalmologischen Messung

- der Korneadicke, des Korneadickenprofils, des Korneavorder- sowie -rückseitenprofils;

- 25 -

- der Vorderkammertiefe, des Vorderkammertiefenprofils,
- der Linsendicke, des Linsendickenprofils, des Linsenvorder- sowie –rückseitenprofils,
- der Glaskörpertiefe, des Glaskörperprofils,
- 5       ➤ der Retinaschichtdicke, des Retinaoberflächenprofils,
- der Epitheliumdicke, des Epitheliumprofils, des Epitheliumvorder- und –rückflächenprofils,
- der kornealen Flapdicke, des Flapdickenprofils, des Flapvorder- und –rückseitenprofils, der Flapposition,
- 10      ➤ der kornealen Stromadicke, des Stromaprofils, des Stromavorder- und –rückflächenprofils.
- Weitere Messungen können bei postoperativen Nachuntersuchungen nach refraktiver Chirurgie vorgenommen werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung optischer Eigenschaften wenigstens zweier voneinander distanzierter Bereiche (37, 39; 79, 81; 135/140; 177a-d, 179; 180a-d, 179, 181a-d, 179) bei einem transparenten und/oder diffusiven Gegenstand (5; 75; 109; 121) mit einer Messzeit im Subsekundenbereich, wobei der Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147) mit einer der Anzahl Bereiche entsprechenden Anzahl Messstrahlen (45, 46; 96a, 96b; 71; 101) bestrahlt wird und jeweils zwei Messstrahlen bis auf eine Bestimmungstoleranz zueinander eine optische Wegdifferenz haben, welche einem geometrischen Abstand jeweils zweier Bereiche (37, 39; 79, 81; 135, 140; 177a-d, 179; 180a-d, 179, 181a-d, 179) entspricht und jeder von einem der Bereiche (37, 39; 79, 81; 135, 140; 177a-d, 179; 180a-d, 179, 181a-d, 179) reflektierte Reflexionsstrahl der Messstrahlen mit einem eine zeitliche, bevorzugt periodische, Weglängenvariation aufweisenden dritten Strahl (13; 60) interferierend überlagert und detektiert wird.  
10  
15
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach Vornahme der Wegdifferenz bzw. -differenzen eine Vereinigung der Messstrahlen zu einer einzigen Strahlkonfiguration mit einer einzigen optischen Achse (40, 102) zur Dickenmessung erfolgt und vorzugsweise die Strahlkonfiguration (71) über den Gegenstand (75; 121) bewegt, insbesonders periodisch über diesen bewegt wird.  
20
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeweils wenigstens zwei Messstrahlen in einem Abstand nebeneinander verlaufen, um ein Oberflächenprofil zu ermitteln.  
25
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messstrahlen im Vergleich zu den Bereichsabständen, insbesondere zu den Bereichsabständen ausgehend von einem Referenzort (139) eine kurze Kohä-

renzlänge haben, vor allem die Messstrahlen (96a, 96b) jeweils sich voneinander unterscheidende Strahlungsfrequenzen haben, vorzugsweise die Messstrahlen (45, 46) jeweils sich voneinander unterscheidende Polarisationszustände haben, insbesondere jeweils ein Messstrahl (45, 46; 96a, 96b) auf einen der Bereiche (37, 39; 79, 81) fokussiert wird und wahlweise bei der zeitlichen Weglängenvariation des dritten Strahls ein einer vorgegebenen Weglänge entsprechender Referenzort definiert wird.

5. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit einer "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung, in deren 10 Messarm (3; 55; 157b) ein optisch transparenter und/oder diffusiver, bevorzugt reflektierender Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147) einbringbar ist und deren Referenzarm (1; 56, 90; 157a) eine Weglängenvariationseinheit (17; 65, 66; 161) aufweist, mit der bevorzugt eine periodische Weglängenänderung für die Strahlung im Referenzarm (1; 56, 90; 157a) erzeugbar ist, **gekennzeichnet durch** eine im Messarm (3; 55; 157b) vor dem Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147) angeordnete Umwegeinheit (29; 70, 95; 120; 163), mit der wenigstens ein erster 15 Messstrahl mit einer gegenüber wenigstens einem zweiten Messstrahl größeren Umweg beaufschlagbar ist, wobei ein mit der Umwegeinheit (29; 70; 95; 120; 163) erzeugbarer Umweg bis auf eine Bestimmungstoleranz gleich einem Abstand von im Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147) auszumessenden Bereichen 20 (37, 39; 79, 81; 177a-d-179; 180a-d-179, 181a-d-179), bevorzugt gleich einen Abstand seitlich benachbarter Bereiche von einem Referenzort (139) wählbar ist.
- 25 6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlungsquelle (7; 50; 149; 191a-e) der "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung derart ausgebildet ist, dass die Strahlung des von ihr ausgehenden Quellenstrahls (9; 51) eine im Vergleich zu den Bereichsabständen kurze Kohärenzzeit hat, die Strahlung wenigstens in zwei unterschiedliche Polarisationsrichtungen aufspaltbar ist und die Umwegeinheit (29; 70; 163) wenigstens zwei Strahlteiler (31, 32; 164, 165) hat, mit denen der zweite, gegenüber dem ersten 30

Messstrahl eine andere Polarisation aufweisende Messstrahl über den Umweg (43) führbar ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsquelle (83a, 83b) der "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung derart ausgebildet ist, dass die Strahlung wenigstens zwei unterschiedliche Strahlungszentrumswellenlängen hat und die Umwegeinheit wenigstens zwei wellenlängen-selective Strahlteiler (93, 100) hat, mit denen der zweite, gegenüber dem ersten Messstrahl eine andere Strahlungsfrequenz aufweisende Messstrahl über den Umweg (93-94b-97b-99-101) führbar ist.  
10
8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass in der Umwegeinheit (29; 70; 95; 120) die geometrisch-optische Länge des Umwegs durch eine Abstandsverstellung eines Umlenkspiegels (36; 99) gegenüber einem der Strahlteiler (32; 100) veränderbar ist und insbesondere der Strahlteiler (32; 100) und jeder diesem zugeordnete Umlenkspiegel (36; 99) derart zueinander ausgerichtet sind, dass jeder umgelenkte Messstrahl mit dem nicht umgelenkten eine einzige optische Achse (40, 102) im Gegenstand (5; 75; 109; 121) hat sowie wahlweise je eine Fokussiereinheit (33, 34; 67, 72, 77, 78; 97a, 97b) für jeden Messstrahl, um diesen auf je einen Bereich (37, 39; 79, 81; 107, 108) fokussieren zu können.  
15  
20
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, gekennzeichnet durch eine Speichereinheit (143), in der Weglängen der Weglängenvariationseinheit abspeicherbar sind, bei denen eine Interferenz der ersten und dritten sowie zweiten und dritten Messstrahlung abspeicherbar sind, um einen Dickenwert bei vorzugsweise annähernd auf einer Achse fokussierten ersten und zweiten Messstrahlen zu ermitteln bzw. wahlweise ein Oberflächenprofil bei seitlich benachbart liegenden ersten und zweiten Strahlen zu ermitteln.  
25

10. Verwendung des Verfahrens nach Anspruch 1 mit einer Vorrichtung nach Anspruch 5 zur Dicken- und/oder Abstandsmessung von in einem transparenten und/oder diffusiven, bevorzugt örtlich schwer fixierbaren Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147) vorhandenen optischen Bereichen (37, 39; 79, 81; 115) unterschiedlicher optischer Eigenschaften, wie beispielsweise Brechungsindexübergängen, wobei der Umweg in der Umwegeinheit (29; 70; 95; 118; 120; 163) bis auf eine Bestimmungstoleranz auf die zu erwartende, zu messende Abmessung eingestellt wird und die mit der Weglängenvariationseinheit (17; 65, 66; 161) variierbare Weglänge mindestens der Toleranz entspricht.  
10
11. Verwendung des Verfahrens nach Anspruch 1 mit einer Vorrichtung nach Anspruch 5 zur Profilbestimmung von einem Strahlung reflektierenden, bevorzugt örtlich schwer fixierbaren Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147), wobei der Umweg in der Umwegeinheit (29; 70; 95; 118; 120; 163) bis auf eine Bestimmungstoleranz auf den zu erwartenden und zu messenden Abstand vorzugsweise von einem Referenzort eingestellt und abgespeichert wird und mit einem vorgängig ermittelten, einen seitlichen Distanzwert aufweisenden Abstandswert zur Profilermittlung verknüpft wird.  
15
- 20
12. Verwendung nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass der Gegenstand das menschliche Auge (75; 121; 147) ist.**

1/7

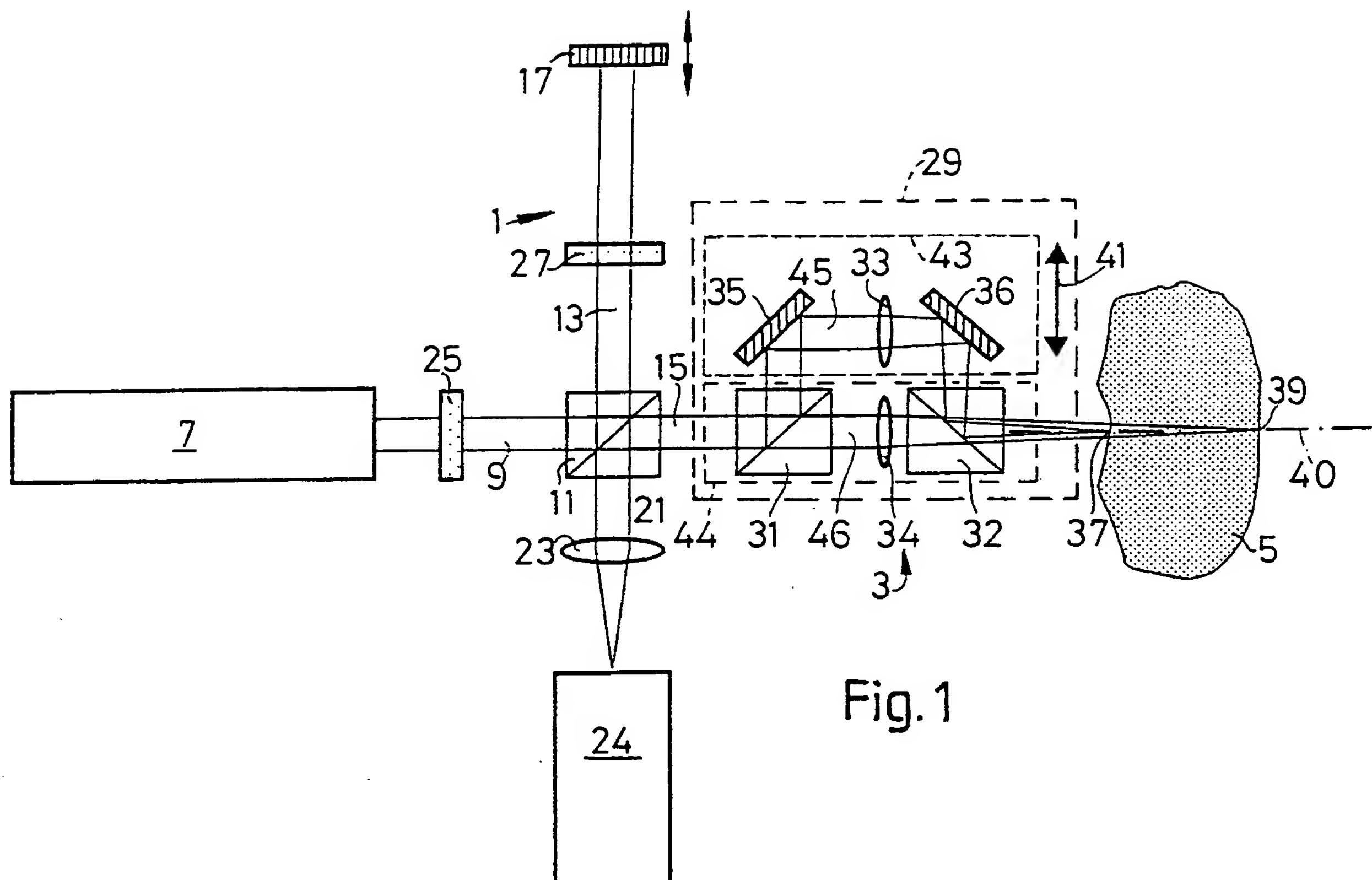
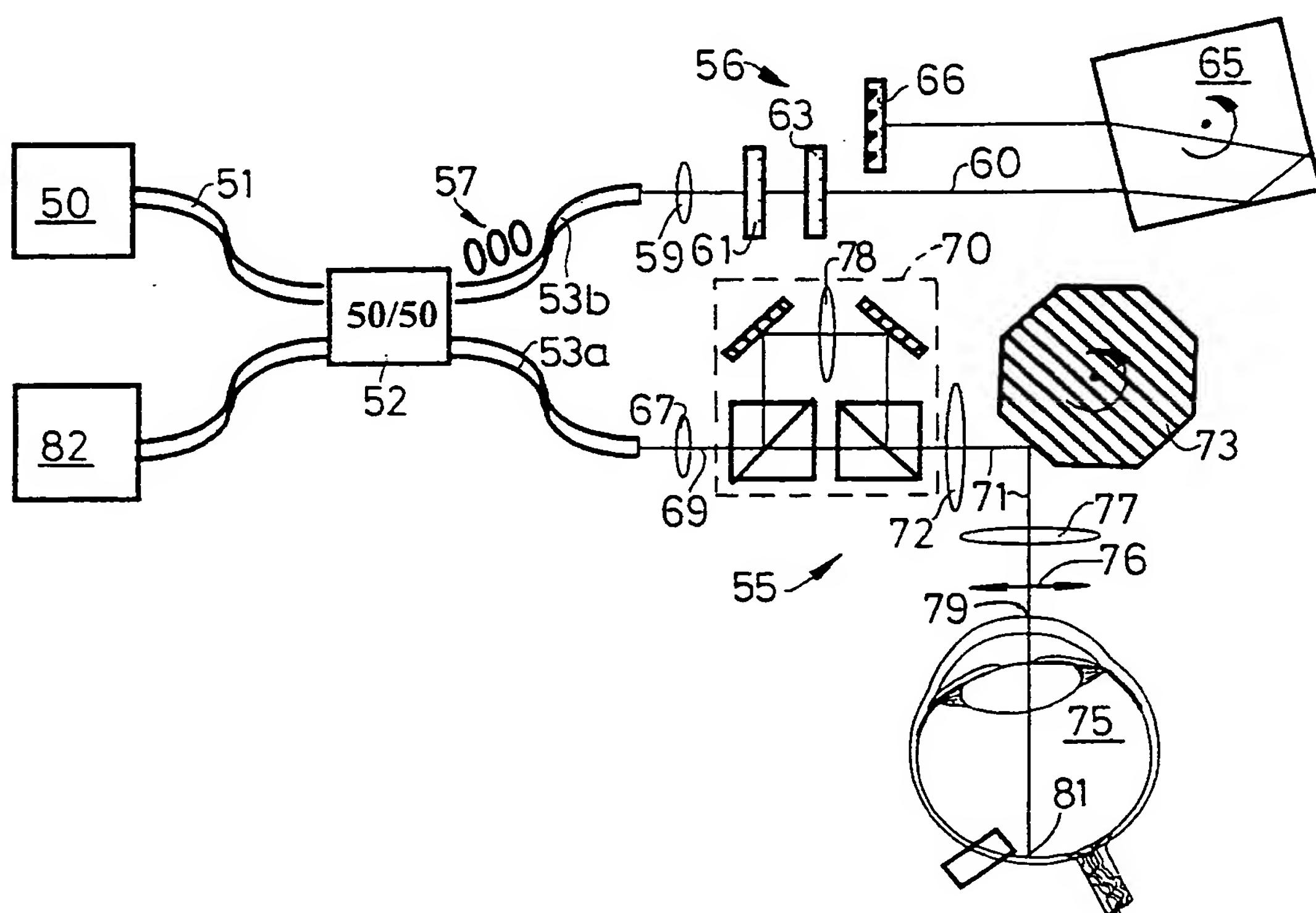


Fig. 1

Fig. 2



2/7

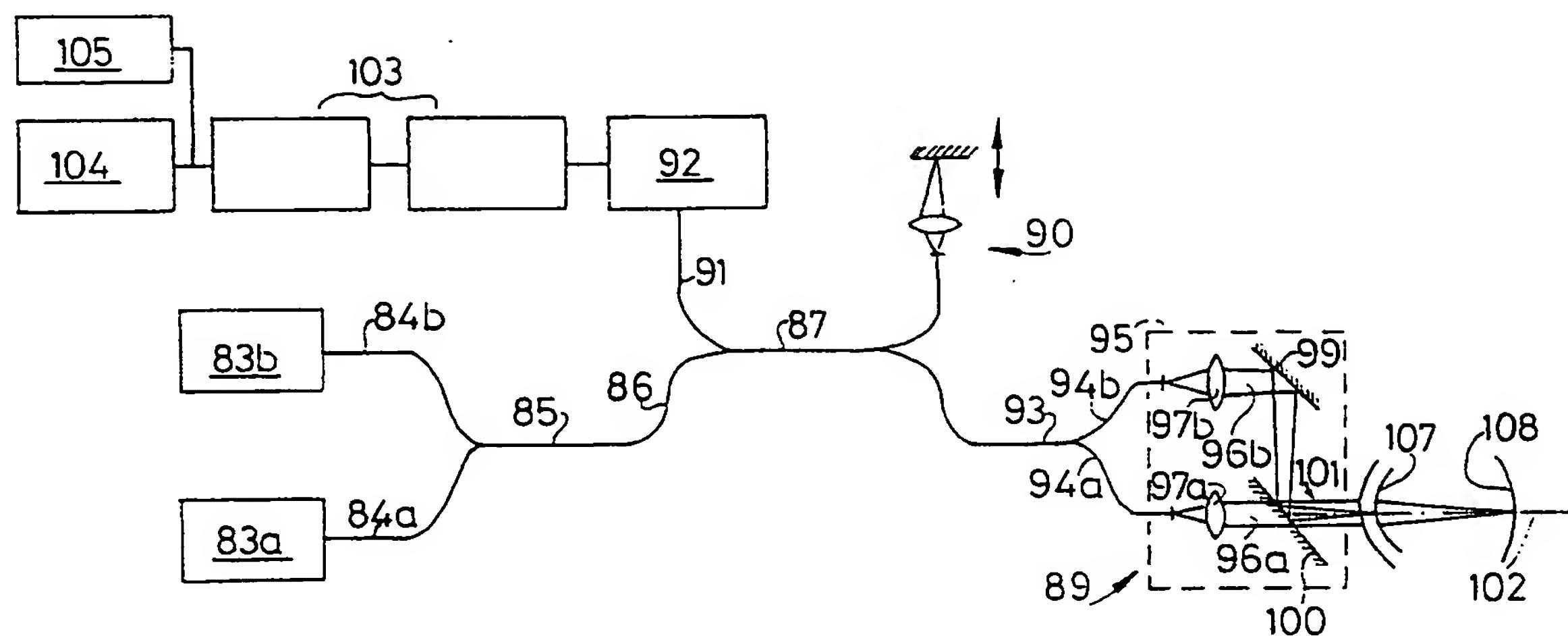
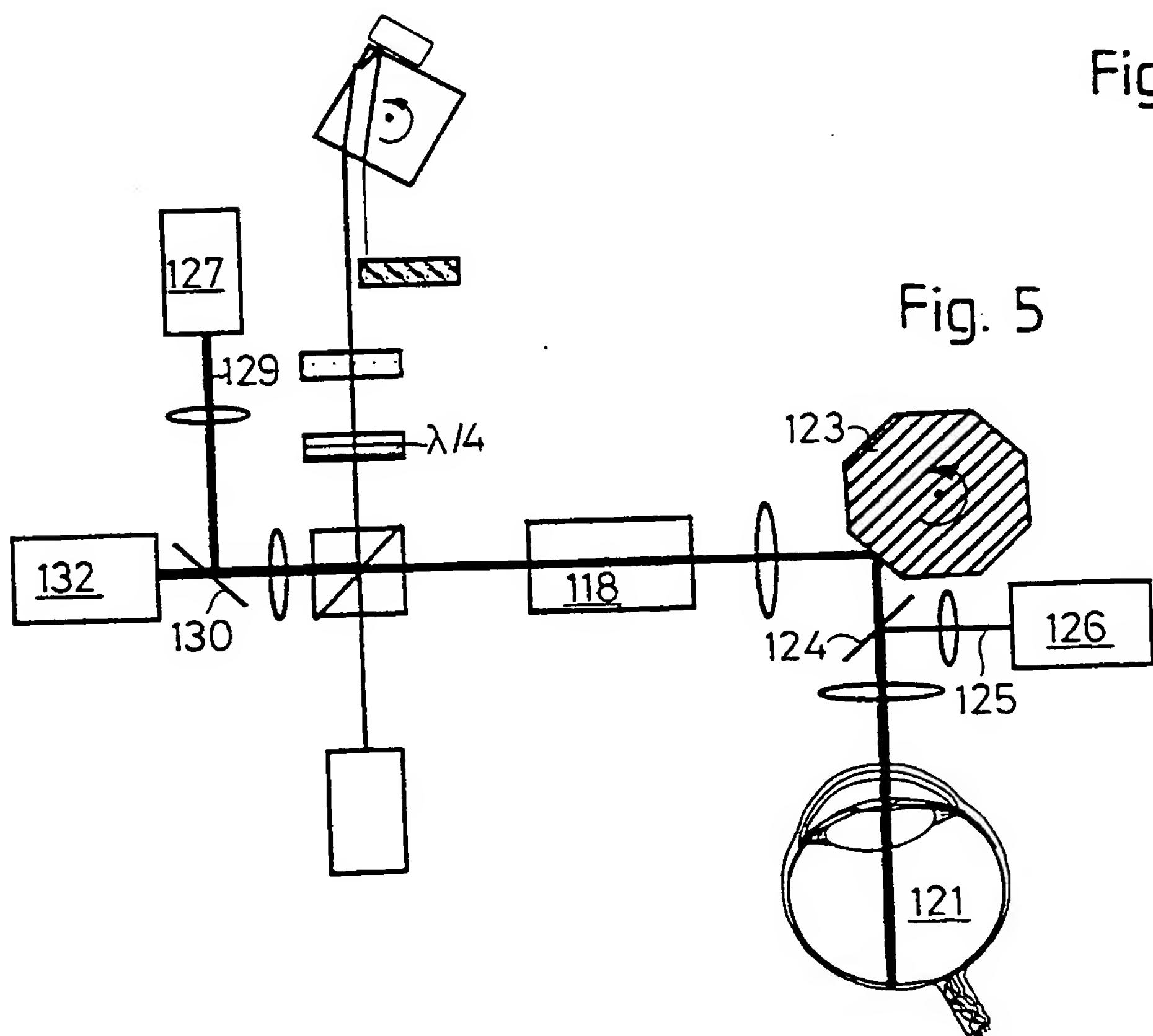


Fig. 3



3/7

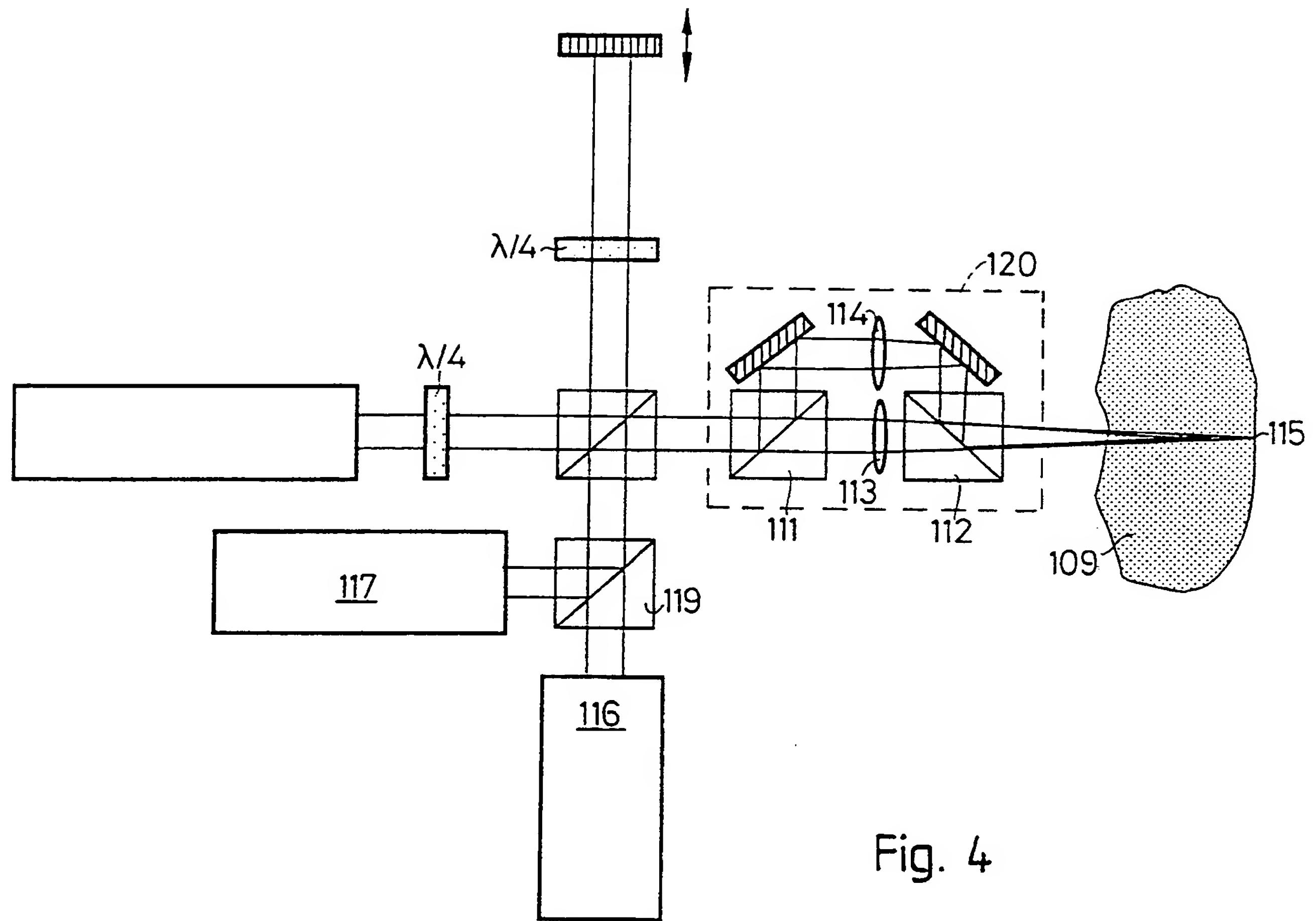


Fig. 4

4/7

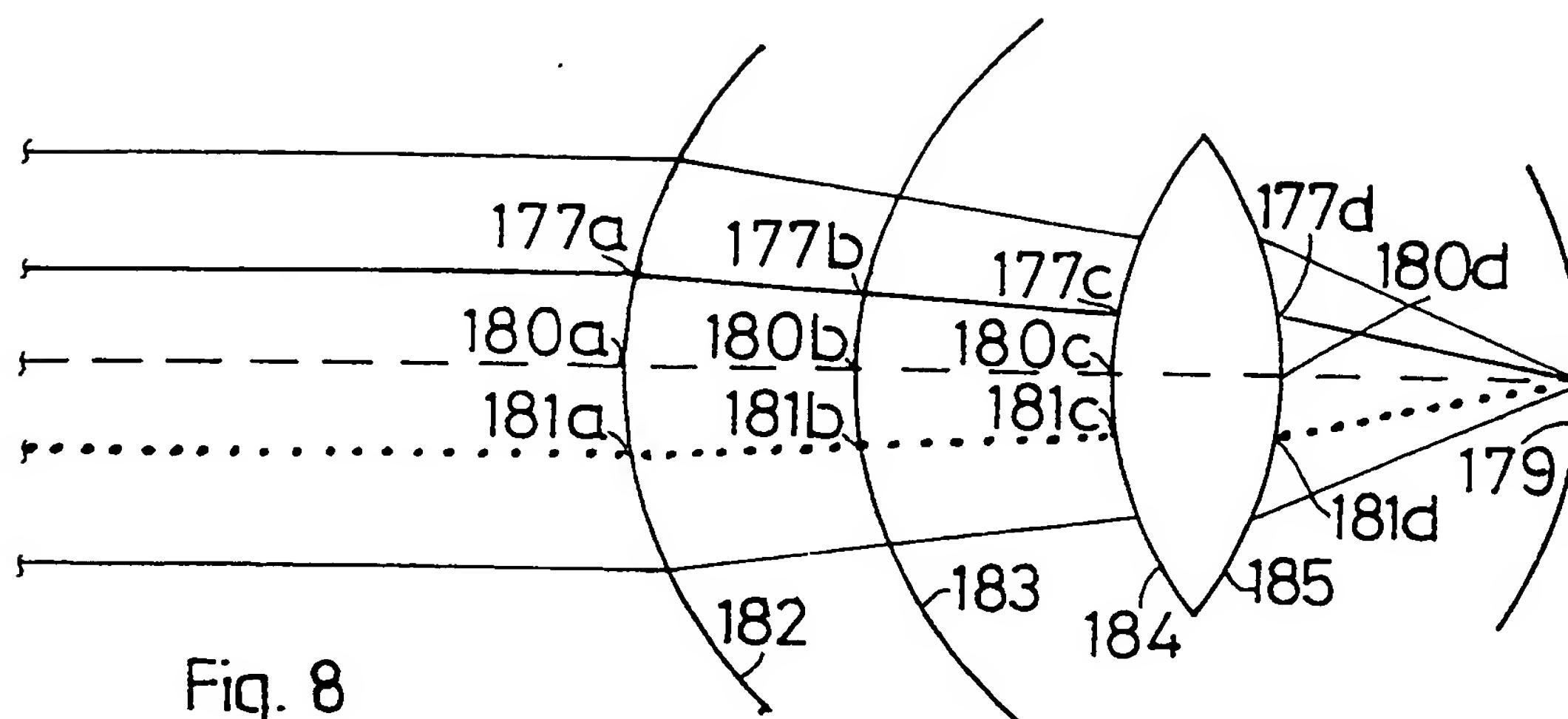


Fig. 8

Fig. 6

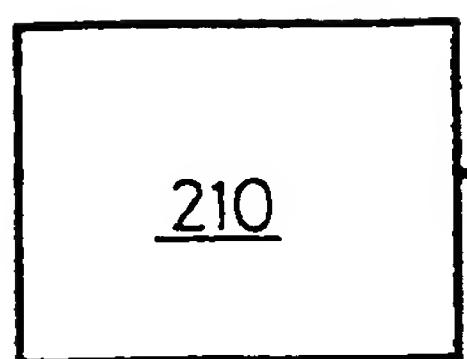
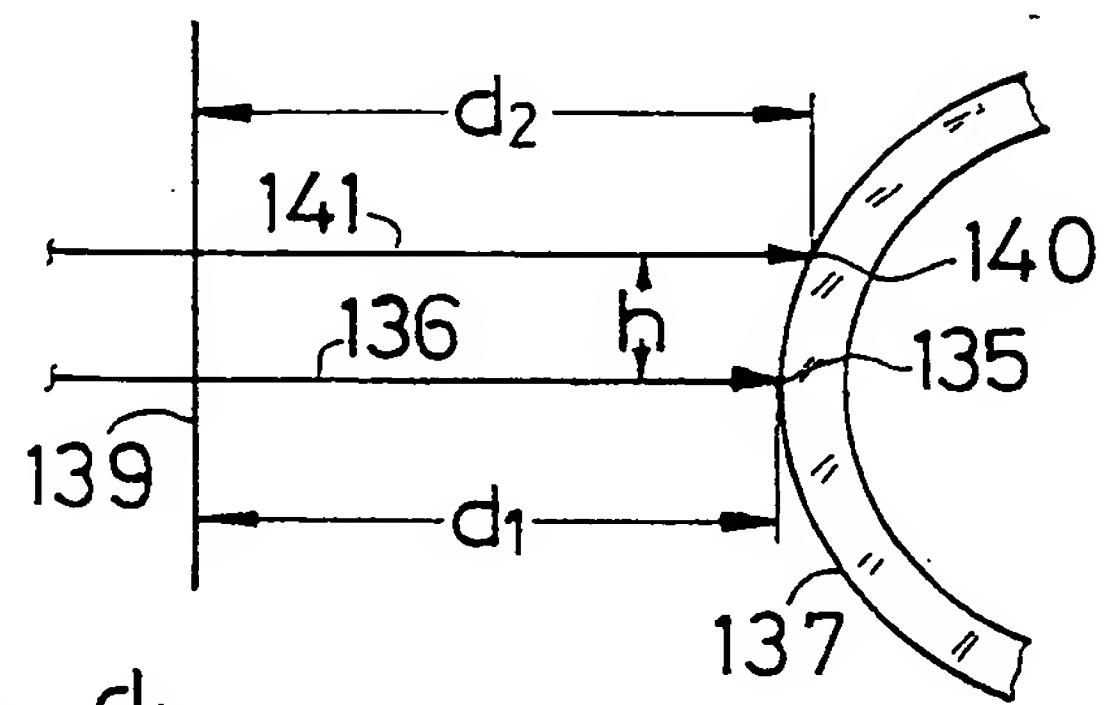
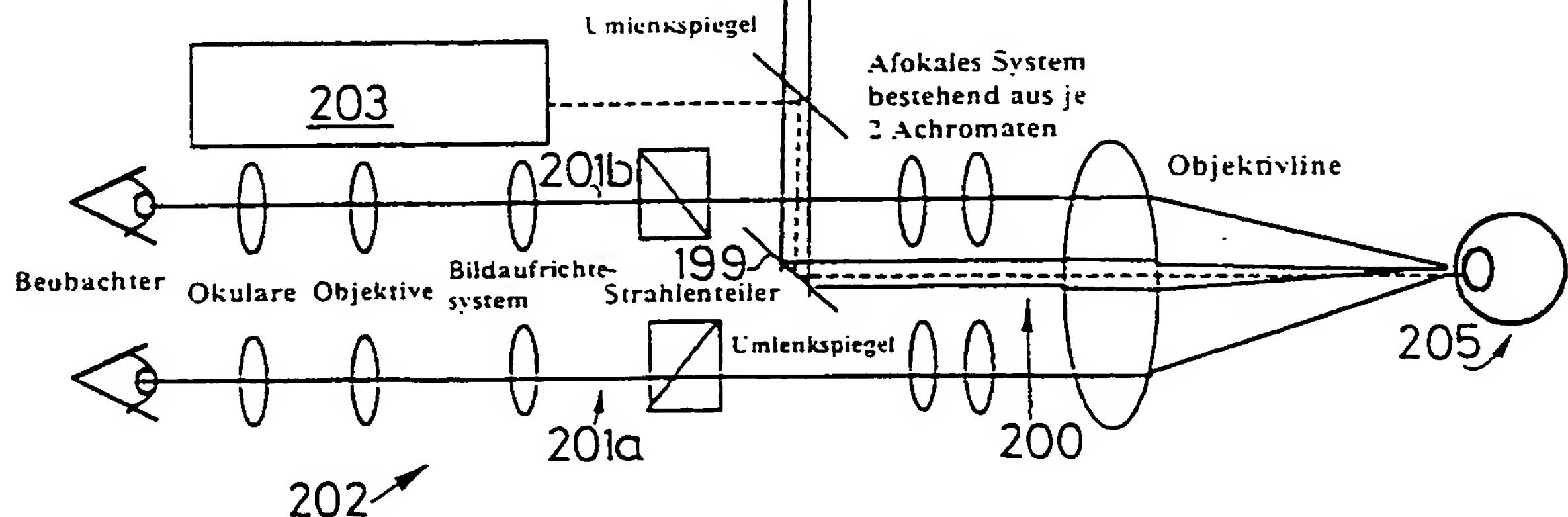


Fig. 11



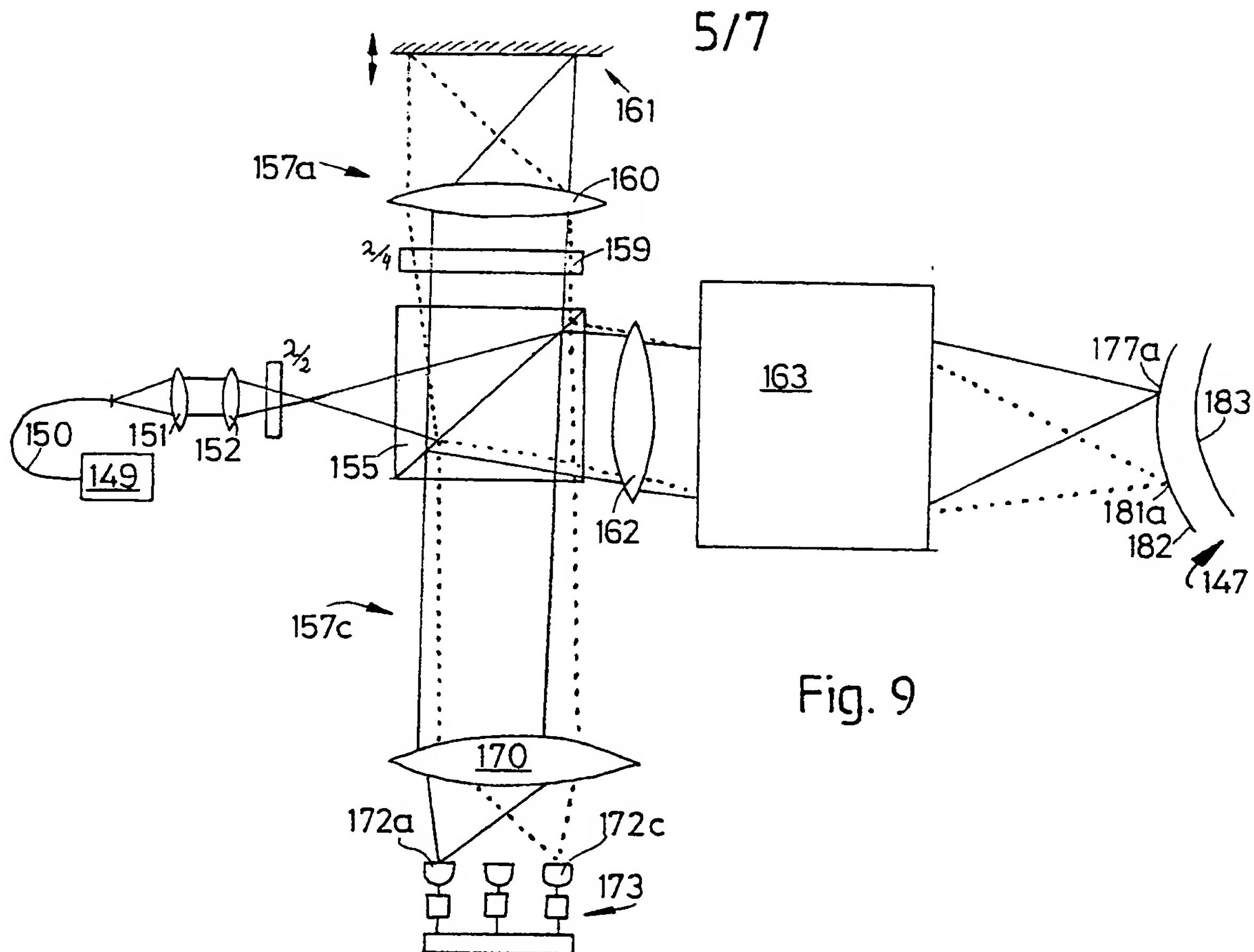
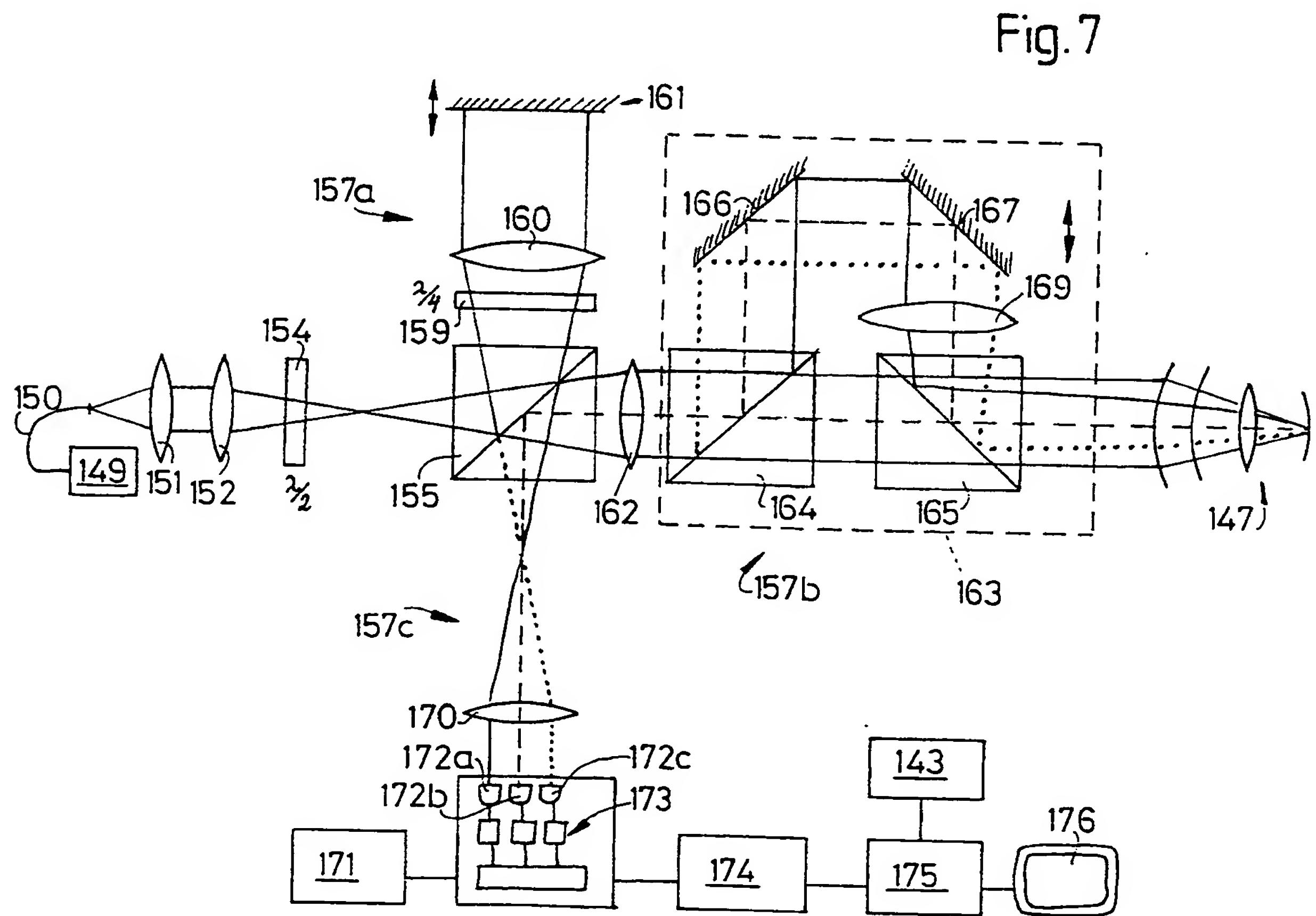
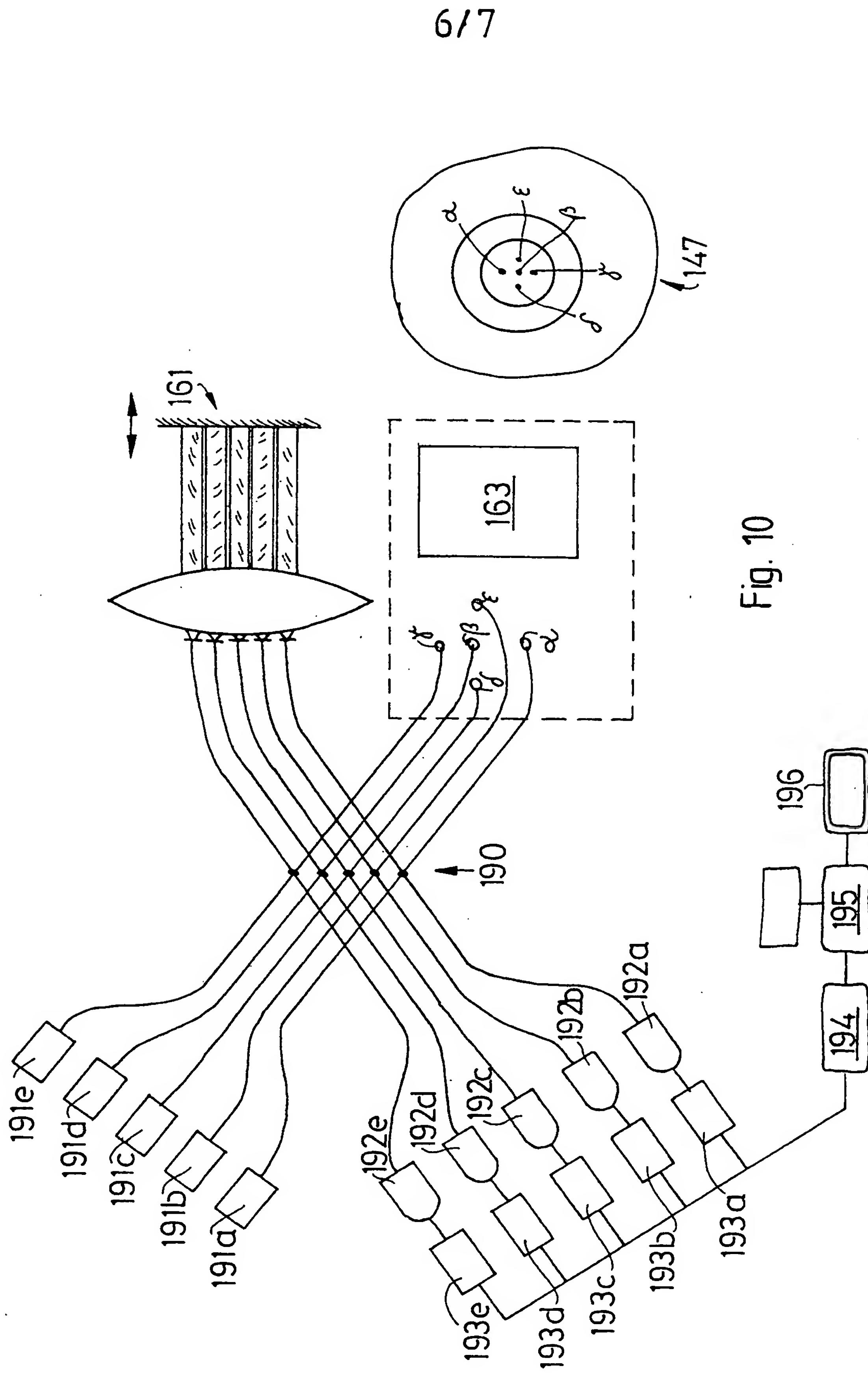


Fig. 9





7/7

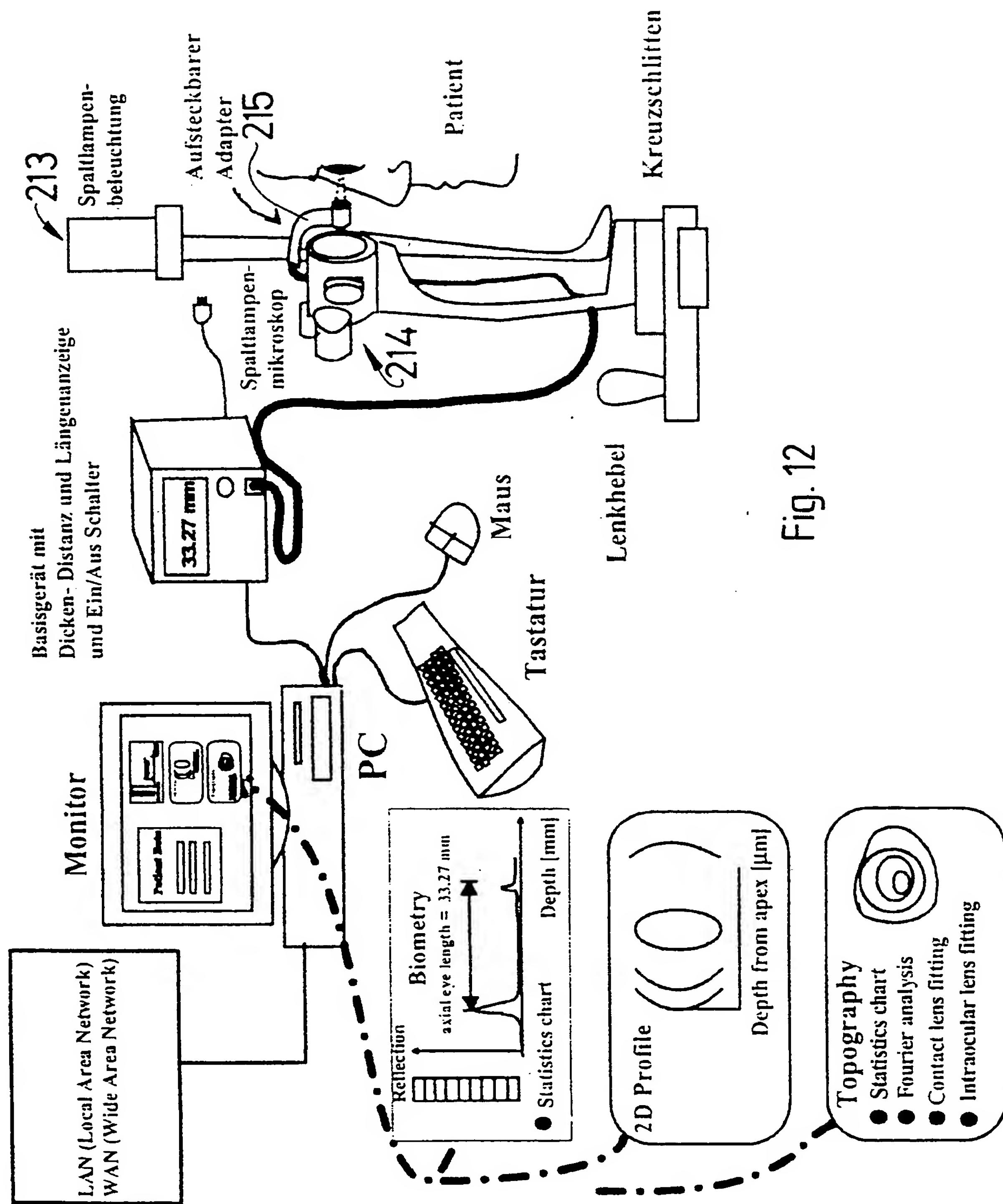


Fig. 12

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/CH 00/00634

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G01B9/02 G01B11/06 G01N21/45

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G01B G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 96 35100 A (MERIDIAN AG ;CHAVANNE PHILIPPE (CH); SALATHE RENE PAUL (CH)) 7 November 1996 (1996-11-07) cited in the application abstract; figure 1 ---	1,5,10
A	EP 0 932 021 A (UNIV HONG KONG SCIENCE & TECHN) 28 July 1999 (1999-07-28) abstract; figure 2 ---	1,5,10
A	EP 0 671 601 A (MINNESOTA MINING & MFG) 13 September 1995 (1995-09-13) abstract; figure 1 ---	1,5,10

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

### Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 February 2001

Date of mailing of the international search report

26/02/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Vorropoulos, G

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/CH 00/00634

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
WO 9635100 A	07-11-1996	EP 0877913 A	18-11-1998	US 6144456 A 07-11-2000
EP 0932021 A	28-07-1999	NONE		
EP 0671601 A	13-09-1995	US 5523839 A 04-06-1996	JP 7280539 A 27-10-1995	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. nationales Aktenzeichen

PCT/CH 00/00634

## A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G01B9/02 G01B11/06 G01N21/45

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01B G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 96 35100 A (MERIDIAN AG ;CHAVANNE PHILIPPE (CH); SALATHE RENE PAUL (CH)) 7. November 1996 (1996-11-07) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildung 1 ---	1,5,10
A	EP 0 932 021 A (UNIV HONG KONG SCIENCE & TECHN) 28. Juli 1999 (1999-07-28) Zusammenfassung; Abbildung 2 ---	1,5,10
A	EP 0 671 601 A (MINNESOTA MINING & MFG) 13. September 1995 (1995-09-13) Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	1,5,10



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldeatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldeatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldeatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

9. Februar 2001

26/02/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Vorropoulos, G

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Int. nationales Aktenzeichen

PCT/CH 00/00634

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 9635100 A	07-11-1996	EP	0877913 A	18-11-1998
		US	6144456 A	07-11-2000
EP 0932021 A	28-07-1999	KEINE		
EP 0671601 A	13-09-1995	US	5523839 A	04-06-1996
		JP	7280539 A	27-10-1995